



Recherches sur la pluviométrie de la corne orientale de l'Afrique

Pierre Camberlin

► To cite this version:

Pierre Camberlin. Recherches sur la pluviométrie de la corne orientale de l'Afrique. Géographie. 1991. dumas-01329745

HAL Id: dumas-01329745

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01329745>

Submitted on 9 Jun 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Recherches Sur la Pluviometrie De
la Corne Orientale de L'Afrique

1991

RECHERCHES SUR LA PLUVIOMETRIE DE LA CORNE ORIENTALE DE L'AFRIQUE

Mémoire de D.E.A.

"Climats et Contraintes Climatiques"

Juin 1991

Pierre Camberlin

Centre de Recherches de Climatologie

Université de Bourgogne

CREBU	
No. d'inventaire	988 1014
Date	8 APRIL 1992
Cote	SAF / CAM

IFRA 00440/2006

IFRA L 219Y
Accession No. 1014
Date: 8-04-1992
Class No. EA 551.6 CAM

M. Pierre CAMBERLIN
Centre de Recherches de Climatologie
Université de Bourgogne
BP 138
21004 DIJON CEDEX, FRANCE

REMERCIEMENTS

Tous mes remerciements vont aux nombreuses personnes qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire, tant en France qu'en Afrique:

- Jocelyne Pérard et Bernard Fontaine, du Centre de Recherches de Climatologie de Dijon, qui m'ont donné de précieux conseils et m'ont encouragé à poursuivre mes travaux;

- Gérard Beltrando, qui m'a accueilli pour un stage au Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'Ecole Polytechnique à Palaiseau;

- Toutes les personnes grâce auxquelles j'ai pu obtenir des données pluviométriques complémentaires:

Mme Stella Aura, Kenya Meteorological Dept, Nairobi-Dagoretti;

M. Taher Allaoui, Direction de la Météorologie de Djibouti;

M. Ali Abdi Odawa, Food Early Warning Dept, Ministry of Agriculture, Mogadiscio;

MM. Peter Hutchinson et Mike Hulme, Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich.

- Et tous mes amis du Kenya et d'Afrique Orientale.

ABSTRACT

A STUDY OF RAINFALL IN THE EASTERN HORN OF AFRICA

The Eastern Horn of Africa (Somalia, Ethiopia, Djibouti and Kenya) exhibits strong rainfall anomalies, considering the latitudinal position of the region. The mean annual rainfall map shows a vigorous meridian contrast between the rainy Western Highlands of Kenya and Ethiopia, and the deficiency of the lowlands of Somalia, the Eastern parts of Kenya and Ethiopia, and the Red Sea coast. This opposition is mainly related to the northern summer season, during which the different characteristics of the wet "west-african" monsoon and the dry divergent "indian" monsoon are clearly emphasized. They induce single-maximum summer rainfall regimes, and double-peak spring and autumn regimes, respectively. The extension of the summer rainfall maximum as far south as Western Kenya constitutes another anomaly.

A contrast also exists between the (unexpected) winter rainfall regimes of the Red Sea Coast, and the summer rainfall regimes of the Ethiopian Plateau. The local and regional influences of relief and sea proximity (the latter generally up to 30 or 50 kms from the coast), and their associated wind circulations, play an important part in the rainfall patterns. That is the case (at least partially) for the coastal winter rains of the Red Sea and the Gulf of Aden, the summer rains along the coasts of Kenya and Southern Somalia, or shelter effects in the Rift Valley.

The inter-annual variability is generally high, particularly in the eastern half of the region, where the variations are especially related to the autumn rains. In many of the multiple-peak rainfall areas, there is also a large inter-annual variability in the seasonal repartition of rains, compared to mean regimes. However, year to year persistence of rainfall anomalies is shown to be higher in some of the western continental regions, in particular the Ethiopian Highlands, although there are seldom clear trends.

Periodic droughts have affected the region, the worst hit area being Ethiopia, where severe famines have been reported in 1888-92, 1972-74 or 1982-85, among others. According to the few long-term records available, rainfall variations differ from place to place, but one can discern general patterns, such as low rainfall in the 40's, very high rainfall in the 60's, and two dry periods in the early 70's and 80's, separated by above-normal rainfall years. Although comprehensive study of spatial variations is still to be carried out, it seems that Ethiopian rainfall patterns (especially in Eritrea) are often quite different from those of the other regions. This is also shown in the analysis of rainfall periodicities, which indicate 4 peak frequencies:

- 2 to 2.5 years, mainly in the Indian Ocean coastal areas;
- 3 to 4 years, weak and rare;
- 5 to 6 years, common throughout the Horn of Africa (except in Eritrea);
- 10 to 12 years, essentially significant in Addis-Ababa.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.	8
I - LE CHAMP MOYEN DE PRECIPITATIONS ET LES GRANDS TRAITS DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE.	9
A / LA REGION ETUDIEE.	9
1) Délimitation.	9
2) Une région tropicale en façade est de continent.	10
3) La vigueur et la complexité du relief.	11
* La disposition générale.	
* Les ensembles topographiques majeurs.	
B / L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE.	14
1) Le rôle fondamental du balancement saisonnier.	14
2) Disposition de l'atmosphère pour les différentes saisons.	14
a) La situation d'hiver boréal (janvier)	14
b) La situation de printemps boréal.	16
c) La situation d'été boréal (juillet).	17
d) La situation d'automne boréal.	19
C / LE CHAMP ANNUEL MOYEN DE PRECIPITATIONS.	20
1) L'originalité pluviométrique: sécheresse équatoriale et azonalité.	20
2) L'importance de l'altitude.	20
3) Les altérations à la relation précipitations/ altitude.	23
4) Remarques sur l'optimum pluviométrique.	24
5) L'intensité des précipitations.	25
Conclusion.	27

D / LA SUCCESSION DES SAISONS PLUVIOMETRIQUES.	27
1) La sécheresse de l'hiver boréal (décembre à mars).	30
a) Description des champs pluviométriques mensuels.	30
b) Origine et caractéristiques des précipitations.	31
2) La première saison de transition (avril/mai).	33
a) Présentation des champs pluviométriques mensuels.	33
b) Origine et caractéristiques des précipitations.	35
3) La mousson d'été (juin à septembre).	36
a) La dynamique des champs pluviométriques mensuels.	36
b) Caractéristiques et origine des précipitations.	40
4) La seconde saison de transition (octobre/ novembre).	42
a) Description des champs pluviométriques mensuels.	42
b) Caractéristiques et origine des précipitations.	43
Conclusion.	45
 II - DIFFERENCIATION REGIONALE	
DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES.	46
 A/ EXPOSE DES METHODES ET RESULTATS GENERAUX.	46
1) Les études antérieures.	46
2) Présentation des méthodes de travail.	47
3) Résultats d'ensemble.	48
 B/ LES GRANDS TYPES DE REGIMES.	52
1) Les régimes à maximum d'hiver de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden (type A).	52
a) Leurs caractéristiques.	52
b) Les types régionaux.	52
2) Les régimes à maximum d'été du Plateau Ethiopien (type B).	59
a) La façade occidentale des Plateaux Ethiopiens (type B1).	60
b) Les plateaux de l'Est et du Sud (type B2).	61
c) La Dépression Dankalie et sa bordure montagneuse (type B3).	62
3) Les régimes bimodaux de type Somali (Type C).	62

a) Le Sud du Kenya (Type C1).	63
b) Les Hautes-Terres de l'Est du Kenya (Type C2).	63
c) Le Nord-Ouest du Kenya (Type C3).	64
d) Les plateaux de Somalie du Nord (Type C4).	64
e) La région sublittorale Sud (Type C5).	64
f) Le coeur du domaine (Type C6).	64
4) Les particularismes de la Côte Sud de l'Océan Indien (Type D).	65
5) Les régimes trimodaux de l'Ouest du Kenya et du Sud-Ouest de l'Ethiopie (Type E).	66
 C/ LES PROBLEMES DE LIMITES.	66
1) L'opposition "régime d'hiver" et "régime d'été" le long des côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden.	67
2) La limite orientale des pluies d'été boréal en Ethiopie et au Kenya.	71
3) Les phénomènes particuliers aux plaines bordières de l'Océan Indien.	73
Conclusion.	75
 III - QUELQUES ASPECTS DES VARIATIONS TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS.	77
 A / LA MESURE DES RISQUES:	
VARIABILITE ET FIABILITE DES PRECIPITATIONS.	78
1) De fortes variabilités interannuelles.	78
2) La notion de fiabilité.	82
3) Mise en évidence d'une variabilité des régimes pluviométriques.	84
 B / L'ORGANISATION TEMPORELLE DES SERIES PLUVIOMETRIQUES.	87
1) L'évolution climatique: description des grandes oscillations.	87
a) Les phases sèches et humides à l'échelle historique.	87

b) Les grandes fluctuations pluviométriques au cours du XXe s.	89
c) Analyse détaillée de tendances récentes dans quelques stations de la Corne d'Afrique.	92
2) Etude statistique des séries temporelles.	98
a) La persistance interannuelle et intermensuelle.	98
b) La recherche de périodicités.	99
* Les travaux antérieurs et les méthodes employées.	
* Les résultats.	
 CONCLUSION GENERALE.	 109
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	 111
 TABLE DES FIGURES.	 115
 CARTE DE LOCALISATION DES PRINCIPAUX NOMS.	 117

INTRODUCTION

En 1984, lorsque les projecteurs de l'actualité se sont braqués sur l'Ethiopie, le monde a semblé découvrir que, là comme au Sahel ouest-africain, la sécheresse pouvait frapper et faire de véritables hécatombes -le chiffre d'un million de morts en trois ans est souvent avancé-.

Il y a en effet dans cette région de l'Afrique du Nord-Est un véritable "risque climatique", que l'on observe la chronique historique relatant les famines, ou simplement les relations que les hommes entretiennent aujourd'hui avec leur environnement.

Aridité ou sécheresse sont, presque partout dans la Corne de l'Afrique, des contraintes pesantes. L'aridité, qui peut être considérée comme un état de "sécheresse habituelle", affecte la Somalie et de vastes régions du Kenya et de l'Ethiopie. Le pastoralisme nomade en est l'expression socio-économique. La sécheresse proprement dite, prise comme évènement plus exceptionnel, est une contrainte qui frappe parfois durement des régions mieux arrosées, telles les Hautes-Terres d'Ethiopie, voire même celles du Kenya.

Le fort impact sur la vie des hommes de cette région, qu'exercent les irrégularités des précipitations ainsi que leur distribution pendant l'année, pourrait donc justifier à lui seul d'une étude de la pluviométrie de l'Afrique du Nord-Est. Mais il existe également un intérêt scientifique évident à entreprendre une telle étude. Dans cette région climatologiquement mal connue, s'étendant sur plus de 2500 km en latitude, entre 5°S. et 20°N., on ne retrouve guère en effet la disposition pluviométrique zonale observée dans le reste de l'Afrique. Il faut bien parler d'anomalie pluviométrique puisque de vastes régions connaissent ici un climat semi-aride voire aride, tout en étant très proches de l'équateur. De même, les rythmes pluviométriques, complexes, sont souvent originaux compte tenu de la latitude.

On s'attachera donc à présenter les conditions moyennes de répartition spatiale et annuelle des précipitations, chose indispensable pour bien comprendre les mécanismes et interpréter correctement les fluctuations temporelles. Ces dernières feront l'objet d'une étude partielle -compte tenu des insuffisances des données rassemblées à ce jour-, en essayant d'en donner une mesure correcte, et en en précisant les grandes articulations, notamment les tendances et périodicités.

PREMIERE PARTIE

LE CHAMP MOYEN DE PRECIPITATIONS ET LES GRANDS TRAITS DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

1 A / LA REGION ETUDIEE.

1) Délimitation.

Qu'est-ce que la Corne Orientale de l'Afrique? Ce terme d'apparition récente ne recouvre pas, si l'on en juge par la variété des définitions, un espace clairement délimité. Il inclut toujours c'est vrai la péninsule somalienne (en gros la République de Somalie), à laquelle on adjoint généralement l'Ethiopie et la République de Djibouti. On y intègre parfois le Soudan à l'Ouest. Ces regroupements sont en fait souvent bien artificiels, "mariages forcés" d'états marginaux et qui tendent de plus en plus à se marginaliser, politiquement et économiquement.

Dans cette étude de la pluviométrie dans la Corne, nous avons conservé le "noyau dur" de la région, à savoir la Somalie, l'Ethiopie et Djibouti, en y ajoutant le Kenya, dont une bonne partie appartient à la Corne, tant géographiquement que culturellement. Par contre, nous avons exclu le Soudan qui fait partie indiscutablement de l'espace soudano-sahélien. Nous sommes conscients bien sûr de la grande diversité de la région ainsi délimitée, mais le fait que celle-ci soit particulièrement méconnue sur le plan climatique a incité à analyser l'intégralité de cet espace, pour mieux à terme en préciser les limites et les structures internes.

La Corne de l'Afrique est une région très mal fournie en données climatiques (sauf au Kenya), et leur accès est extrêmement problématique. Ce ne saurait être toutefois une raison pour nous limiter à une étude restreinte sur le plan spatial. Il y a en effet bien peu d'espoir pour que l'on dispose dans les années à venir d'une meilleure documentation "de terrain": la gravité de la situation politique actuelle fait que de très vastes territoires échappent aujourd'hui à l'autorité des Etats, ce qui entraîne la fermeture de nombreuses stations météorologiques. Mais même les séries actuellement disponibles sont lacunaires, et assurent une mauvaise couverture spatiale, ce qui exige de relativiser bien des résultats obtenus.

2) Une région tropicale en façade est de continent.

La Corne Orientale de l'Afrique ainsi définie s'étend entièrement sous les latitudes intertropicales, puisque son extrémité nord atteint 18°N, alors qu'au sud, elle inclut une partie proprement équatoriale, jusqu'à 4°S.

Sa particularité est d'être bordée sur toute sa façade orientale par des étendues marines, comprenant deux domaines: l'Océan Indien proprement dit au sud-est, mais des mers beaucoup plus étroites au nord-est, la Mer Rouge et son prolongement le Golfe d'Aden n'étant guère que des "couloirs" maritimes larges en moyenne de 200 à 250 km, au-delà desquels s'étend une autre zone continentale, la péninsule arabique.

L'Océan Indien constitue une masse océanique chaude (en général à plus de 23°C), relativement homogène, présentant une inertie thermique remarquable. La circulation océanique qui le caractérise est dominée par un renversement dû aux moussons (voir plus loin): le long des côtes de la Corne de l'Afrique circule en hiver boréal un courant de nord à nord-est issu de la Mer d'Arabie, frais à l'origine mais se réchauffant rapidement. En été boréal, le courant se renverse puisqu'il circule du sud vers le nord-est. Le long des côtes est-somaliennes, un puissant upwelling se développe à cette saison, et est prolongé au nord-est par les eaux assez froides de la mer d'Arabie. Signalons que le Golfe d'Aden et la Mer Rouge sont des mers chaudes en toutes saisons, sans doute même les plus chaudes du monde pendant l'été boréal.

A l'opposé, sur sa façade occidentale, mais aussi au nord et au sud-ouest, la Corne de l'Afrique est bordée de vastes espaces continentaux. Si l'on exclut les autres massifs d'Afrique Orientale et les montagnes du Yémen, ces régions sont peu accidentées sur le plan du relief, formant même, du bassin du Zaïre jusqu'au Soudan et à l'Egypte, une grande étendue relativement plane sans obstacles notoires.

3) La vigueur et la complexité du relief dans la Corne.

Outre cette position en façade orientale de continent, un autre trait marquant de cette partie de l'Afrique est le relief (fig. 1), qui a un profond retentissement sur le climat. S'y trouvent associés, assez curieusement, à la fois les points les plus bas et les plus hauts du continent. Parmi les régions basses, les cuvettes de l'Afar (également appelée Dépression Dankalie, au Nord-Est de l'Éthiopie) et du lac Assal (République de Djibouti) s'enfoncent respectivement à 116 et 155 mètres au-dessous du niveau de la mer. A l'autre extrémité de l'échelle altimétrique, de nombreux sommets dépassent la barre des 4000 mètres, que ce soit en Éthiopie (Ras Dashan 4620 m., Guna 4231 m., Batu 4307 m.,...) ou au Kenya (Mt Kenya 5199 m., Mt Elgon 4321 m., et à la frontière tanzanienne, Mt Kilimandjaro 5895 m.).

La vigueur du relief ne se mesure pas seulement à ces quelques sommets particulièrement élevés: toute cette partie du continent est comprise dans l'Afrique des "Hautes-Terres", pour reprendre le titre de l'ouvrage de RAISON (1974). S'y trouvent associés massifs montagneux et vastes plateaux, s'étendant largement au Kenya et en Éthiopie, où l'on rencontre de très grandes régions situées au-delà de 1000 mètres d'altitude.

Globalement, il faut distinguer 4 ensembles topographiques majeurs:

- Les Hautes-Terres éthiopiennes.

Elles forment un grand bloc relativement compact, difficilement pénétrable, d'altitude moyenne comprise entre 1500 et 3000 mètres. Les fleuves, profondément encaissés (Nil Bleu, Takazzé, ...) tendent à scinder le massif en un nombre important de petites régions, déjà compartimentées par le relief. Un élément notoire est l'existence d'une grande faille médiane, partie de la Rift Valley Africaine, courant du nord au sud et séparant de ce fait les Hautes-Terres éthiopiennes en deux ensembles distincts. Ces deux blocs sont prolongés vers le nord par deux dorsales montagneuses: les plateaux d'Erythrée pour le bloc oriental, et les petits massifs nord-somaliens pour le bloc occidental. Signalons que la Rift Valley éthiopienne a, dans sa partie méridionale, une altitude non négligeable, le fond étant toujours à plus de 1000 mètres. Par contre, dans sa section septentrionale, elle s'abaisse pour former le second ensemble topographique:

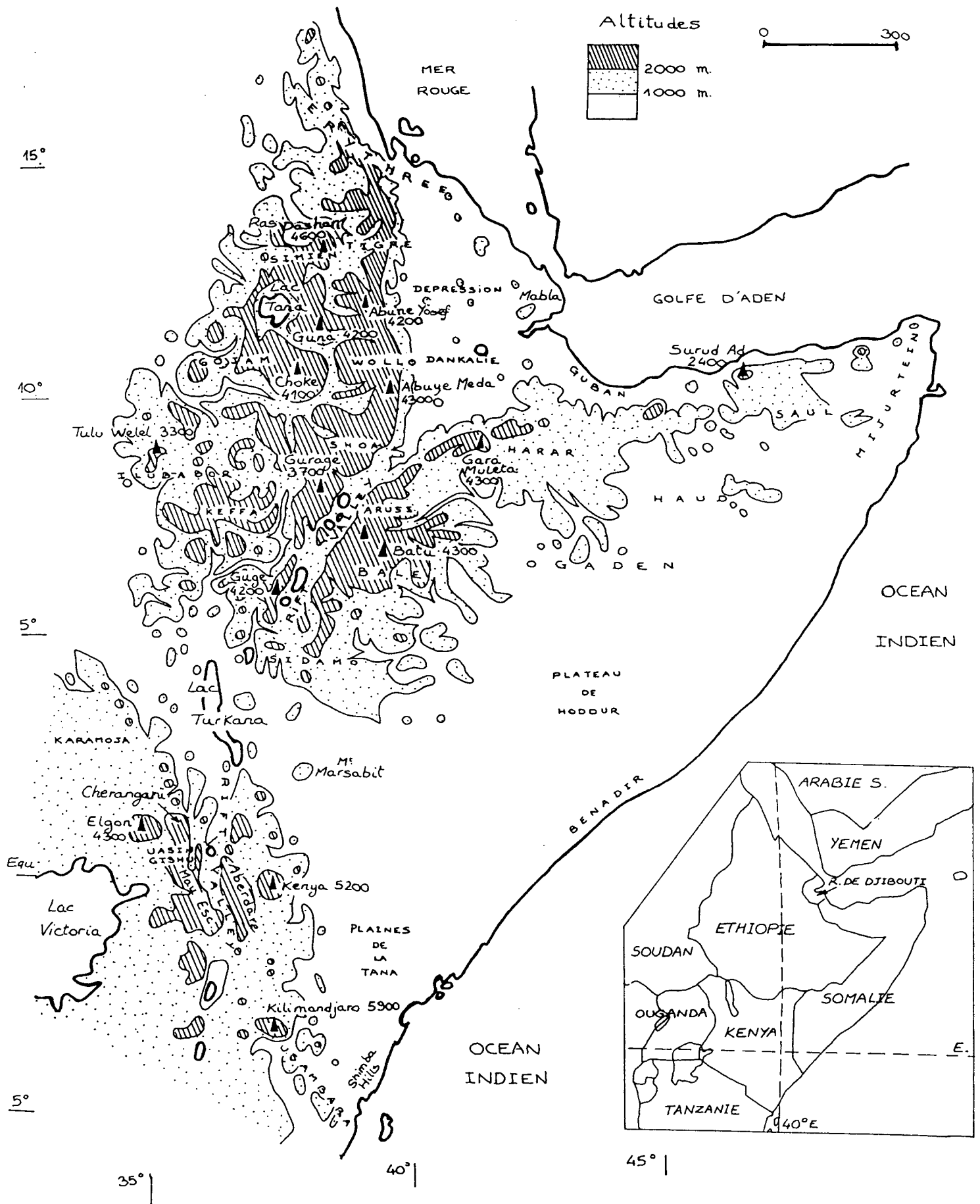


Fig. 1 : RELIEF ET SITUATION

- Les basses terres littorales de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden.

Elles comprennent une étroite bande de plaines côtières, large en général de moins de 50 km, mais aussi la vaste dépression Dankalie. Cette dernière n'a cependant pas un relief uniforme (associant de petits massifs volcaniques à des bassins cloisonnés par des failles) mais les altitudes y demeurent de très loin inférieures à celles des hautes-terres éthiopiennes. De vertigineux escarpements ininterrompus séparent ainsi ces basses-terres des plateaux.

- Les Hautes-Terres du Kenya.

Elles occupent une superficie inférieure à celles d'Ethiopie, desquelles elles sont séparées par une vaste zone déprimée comprenant le Lac Turkana. Les massifs montagneux les plus élevés sont ici relativement isolés (c'est le cas par exemple des monts Kenya et Kilimandjaro). L'altitude moyenne des plateaux et hautes-plaines est comprise entre 1500 et 2500 m. Comme en Ethiopie, cet ensemble est plus ou moins coupé en deux par la grande vallée du Rift Africain, de direction méridienne entre les lacs Turkana et Natron.

- Les plaines et bas-plateaux des régions somalies.

Ils constituent un vaste domaine de faible altitude, entre Mombasa, au sud, et le Cap Guardafui, s'étendant sur 3 pays: la Somalie dans sa quasi-totalité, une bonne partie du Kenya et le Sud-Est de l'Ethiopie. Leur largeur est maximale au Centre (plus de 600 km), et les accidents de terrain y sont minimes -seuls les plateaux de Hoddur et de Sawl dépassent 500 mètres-. Un appendice à cette région est constitué par le couloir du Lac Turkana, qui s'étend en direction du nord-ouest en séparant les massifs d'Ethiopie de ceux du Kenya.

Que retenir de cette description du relief de la Corne Orientale de l'Afrique? D'abord l'existence de régions élevées étendues, formant un violent contraste avec les régions basses qui les entourent. D'autre part, on notera que dans l'ensemble les axes du relief ont une direction méridienne ou subméridienne (NE/SW), les

obstacles zonaux étant rares. Ces deux éléments, on le verra, ont une importance considérable vis-à-vis de la circulation atmosphérique.

1 B / L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE.

1) Le rôle fondamental du balancement saisonnier.

En simplifiant, on peut dire que toute l'Afrique Orientale est soumise alternativement au cours de l'année à deux flux majeurs: la mousson d'été, de sud-ouest, et la "mousson d'hiver", de nord-est (le terme "mousson" étant climatologiquement impropre dans le second cas, car il ne s'agit dans l'hémisphère Nord que de l'alizé).

Ce balancement saisonnier, lié bien entendu au mouvement général zénithal du soleil et aux modifications de l'atmosphère intertropicale qui y sont associées, est ici particulièrement marqué, notamment à cause de l'homogénéité structurelle des espaces qui bordent la région à l'ouest (bassins du Congo et du Nil) et surtout à l'est (Océan Indien).

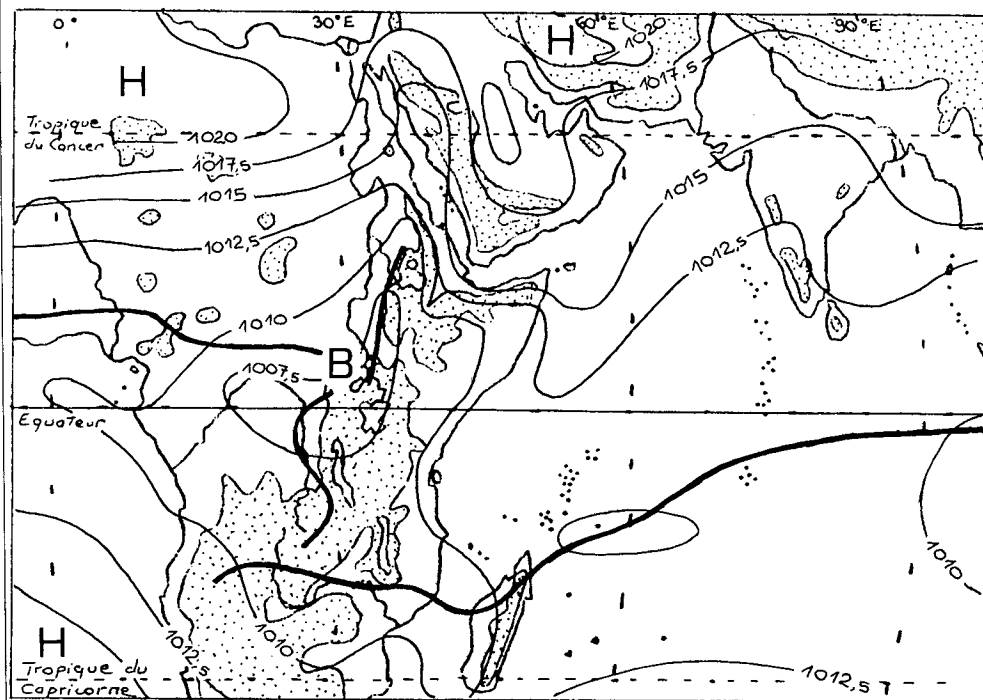
2) Disposition de l'atmosphère au cours des différentes saisons.

En étudiant la disposition des principaux centres d'actions, des grandes discontinuités et des flux sur les fuseaux africains et indiens, on peut présenter les situations caractéristiques opposées des mois de janvier et de juillet, ainsi que les configurations intermédiaires d'avril et d'octobre.

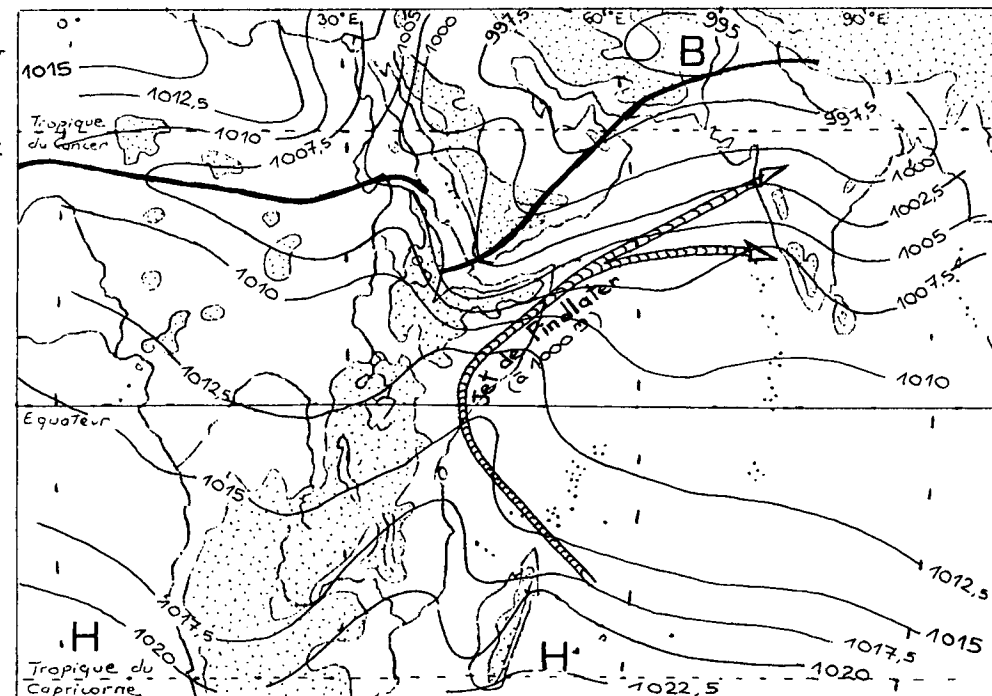
a) La situation d'hiver boréal (janvier)

La disposition moyenne fait intervenir 3 centres d'actions principaux (fig. 2a):

- Au nord de la région, une zone de hautes pressions coiffe l'Est de l'Arabie en se prolongeant par une dorsale en direction du Cap Guardafui.
- Au nord-ouest, elle se raccorde plus ou moins à l'anticyclone de Libye (ou anticyclone Saharien).
- Au sud, du bassin du Congo à Madagascar et au centre de l'Océan Indien se situent des basses-pressions relatives, correspondant à la Zone de Convergence



(A) janvier
 (C) juillet

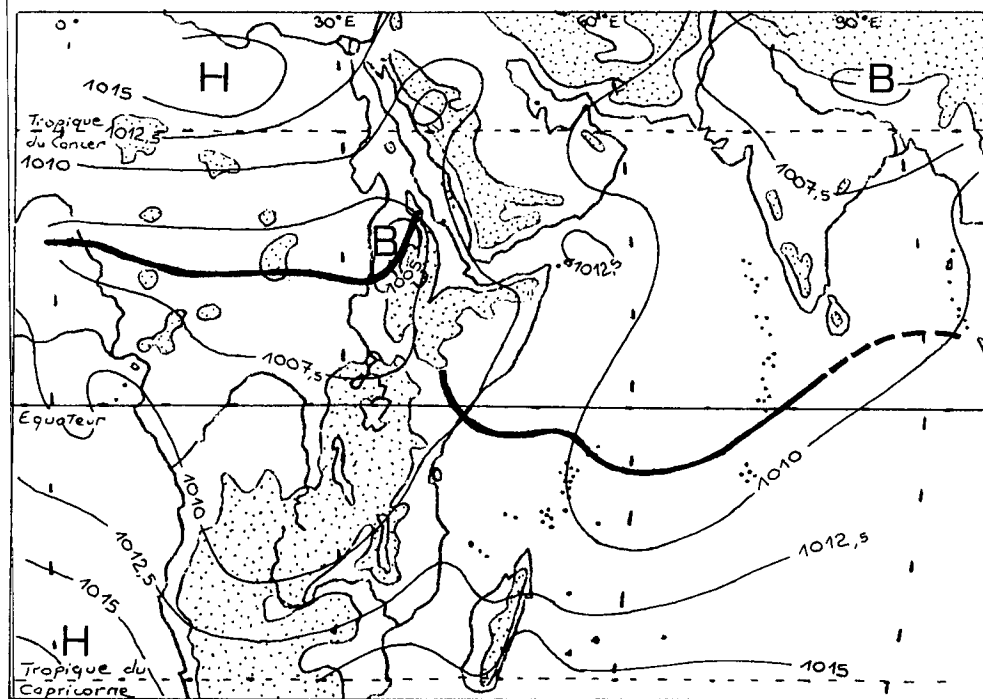


Cartes 2 : DISPOSITION DES CHAMPS MOYENS DE PRESSIONS EN SURFACE

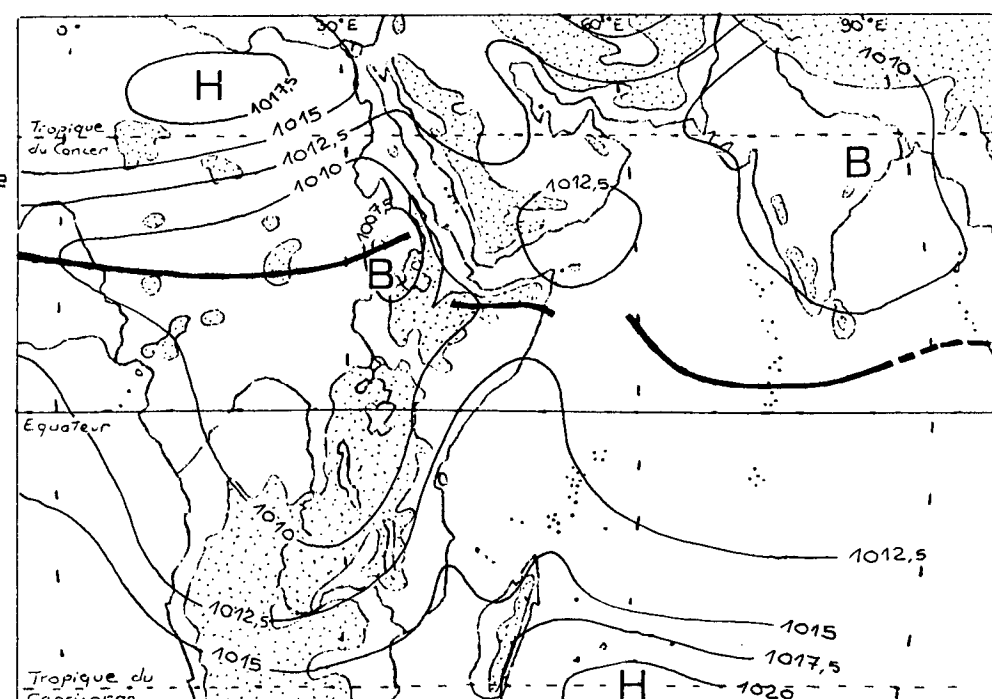
Pressions en hectoPascals

Zones de Convergence —

Altitude > 1000m



(B) avril
 (D) octobre



Inter-Tropicale. Elles sont prolongées sur l'Ouest des Plateaux Ethiopiens et la Mer Rouge par un talweg, appelé parfois Confluence Inter-Océanique.

L'anticyclone asiatique dirige sur son flanc sud-oriental un flux de nord-est qui affecte l'ensemble de la région, et plus particulièrement la côte somalienne de l'Océan Indien. Fort et continu près du Cap Guardafui, ce courant est moins sensible à l'extrême-sud de la zone, mais reste assez sec et stable car surmonté à faible altitude par une inversion d'alizé, au-dessus de laquelle circule un air très sec subsident.

Le talweg s'étendant du Congo à la Mer Rouge est à l'origine d'une divergence de ce flux qui prend une composante Est marquée sur l'Ethiopie et le Golfe d'Aden, et même une direction SE sur le Sud de la Mer Rouge, où il est canalisé entre le Massif Ethiope et les montagnes du Yémen. La Mer Rouge constitue alors une petite zone de convergence entre ce courant de SE et le flux de NNW issu de la Méditerranée par la face orientale de l'anticyclone de Libye. Il se forme dès lors assez fréquemment entre Port-Soudan et Massawa une dépression secondaire liée à cette convergence et à un maximum de températures marines.

En altitude, un élément d'importance est l'existence au niveau 200hPa, sur la marge nord du domaine, d'un fort courant d'ouest, le jet subtropical. Sa position varie, mais en moyenne, l'axe des vitesses maximales (souvent de l'ordre de 50 m/s) se situe entre 25 et 30°N, c'est-à-dire sur le Nord de la Mer Rouge. Le jet subtropical fait toutefois sentir son influence jusqu'au Golfe d'Aden.

Notons qu'au même niveau de 200hPa, mais légèrement au sud de l'équateur s'écoule un flux plus faible d'est.

b) La situation de printemps boréal.

De mars à mai, on assiste à une remontée rapide (mais par bonds successifs) de la ZCIT vers le nord: sur la côte de l'Océan Indien, elle se situe sur le Sud de la Tanzanie en mars, atteint l'extrémité australe de la Somalie en avril et vient se placer sur les reliefs nord-somaliens en mai. Cette translation se fait parallèlement à la migration vers le nord des basses pressions congolaises et de l'anticyclone saharo-asiatique, encore que ce dernier soit toujours prolongé par une dorsale en direction du Golfe d'Aden. Une autre dorsale se développe au sud de la zone, le long des côtes est-africaines, mais ses effets ne se font sentir qu'à partir de mai.

Cette période voit donc le flux de NE ("mousson d'hiver") se restreindre au littoral septentrional (Golfe d'Aden et côte de l'Océan Indien au nord d'Obbia jusqu'en avril). Son parcours plus continental que pendant l'hiver (l'anticyclone asiatique s'est retiré vers le NW) le rend encore un peu plus sec qu'auparavant. Sur les autres régions, les vents changent de direction en devenant instables et moins forts. La disposition du champ de pressions (basses pressions à l'ouest du Massif Ethiopien, dorsale de hautes pressions sur l'Océan Indien) explique la prédominance des vents de SE en avril (fig. 2b).

Sur la façade ouest des Hautes-Terres Ethiopiennes, la ZCIT a toutefois peu progressé vers le nord. Une timide mousson de SW se développe au sud de celle-ci, mais sa faible épaisseur la limite aux piémonts et aux plaines du Sud-Soudan.

D'une manière générale, on notera que le gradient barométrique n'est guère accusé et reste mal établi. Sur le littoral sud-oriental, c'est un régime de brises côtières qui prévaut.

Si l'on examine les flux d'altitude, on peut faire 2 remarques:

- le jet subtropical est toujours présent vers 200 hPa, mais il a quelque peu faibli;
- sa position moyenne en latitude n'évolue pratiquement pas jusqu'en avril, si bien que son influence reste très nette au-dessus de l'ensemble de la Mer Rouge.

c) La situation d'été boréal (juillet).

La circulation atmosphérique au-dessus de l'Afrique du Nord-Est est étroitement assujettie, pendant cette période, aux basses-pressions indiennes et arabo-persiques. Le gradient barométrique affectant l'Océan Indien, extrêmement fort, est responsable d'un flux intense de l'hémisphère austral vers l'hémisphère boréal. Les alizés de SE issus de l'anticyclone des Mascareignes se courbent après le passage de l'équateur, pour donner naissance à la mousson indienne. La péninsule somalienne est alors parcourue par un flux de SW, d'autant plus rapide qu'il est canalisé ici par les reliefs méridiens s'étendant du Lac Malawi jusqu'au Nord de l'Ethiopie et au Yémen. Il faut bien voir que la position de la région en façade ouest de l'Océan Indien favorise une nette divergence, une partie du flux se dirigeant vers la cuvette soudanaise au NW, passant par le couloir du Lac Turkana. Humide à

la base, ce flux d'alizés puis de mousson présente une puissante inversion thermique entre 1500 et 2000 mètres d'altitude.

A l'ouest de l'Ethiopie et au sud des basses-pressions sahariennes de surface, la ZCIT poursuit et achève sa migration vers le nord: elle atteint sa position la plus septentrionale en juillet/août vers Port-Soudan. Sur cette façade, c'est l'air atlantique ou congolais qui constitue le flux de mousson. Cette mousson est épaisse, puisqu'elle atteint 2500 à 3000 mètres à hauteur du centre du Massif Ethiopien, qu'elle submerge donc en grande partie.

L'Ethiopie se situe ainsi à la limite des courants de surface "indien" et "atlantique", quoique principalement affectée par le second à ce qu'il semble. Son relief vigoureux en fait un pôle de conversion thermique au niveau des couches moyennes. Ces vents d'ouest dits "congolais" peuvent intéresser parfois aussi l'extrême-ouest du Kenya (notamment les hautes-terres, l'altitude paraissant jouer un rôle important en facilitant la pénétration de ce flux d'ouest).

Au-delà du Massif Ethiopien, la Mer Rouge est parcourue par un vif courant de NW à N, jusqu'au niveau du détroit de Bab-El-Mandeb, et qui n'est autre que la mousson soudanaise canalisée par les reliefs. Ce flux tend à converger avec la mousson indienne qui parcourt la Somalie, si bien que sur la dépression Dankalie et la région de Djibouti se forme une petite "Zone de Convergence Afar" (TUCKER et PEDGLEY 1977).

La circulation dans les couches hautes et moyennes est marquée par deux flux importants.

Le long de la côte de l'Océan Indien, on observe que le flux de surface de SE (dans l'hémisphère sud) puis de SW (dans l'hémisphère nord) se renforce entre 1000 et 2000 mètres pour former un véritable jet-stream. Ce Jet Somali, également appelé Jet d'Afrique de l'Est ou Jet de Findlater, est un courant transéquatorial puissant (autour de 15 m/s en moyenne) et constant, liant l'anticyclone des Mascareignes aux basses-pressions de l'Inde (FINDLATER 1969). On a pu montrer que la direction et la force de ce jet étaient également très dépendantes des hauts reliefs qui bordent l'Océan Indien sur sa façade occidentale (Madagascar, Hautes-Terres d'Afrique Orientale et d'Ethiopie). Signalons qu'une branche diverge de ce jet pour s'engouffrer dans le couloir Turkana, au nord-ouest (KINUTHIA et ASNANI 1982).

Dans la haute troposphère (vers 200 à 100 hPa), un jet d'est, dit Jet Tropical d'Est, né dans l'Asie du Sud-Est, atteint sa vitesse maximale au niveau du Sud de la Mer Rouge à la fin du mois de juillet. Sa remontée en latitude semble assez brutale et se produit vers la mi-juin: situé vers 2 à 4°N jusque-là, il se déporte vers le nord en se renforçant (plus de 20 m/s au-dessus de Djibouti) et en se stabilisant vers 15°N en juillet.

d) La situation d'automne boréal.

De fin septembre à la mi-décembre, on assiste à un retour vers le sud de la ZCIT, mouvement qui est encore plus rapide que la remontée en avril-mai.

De septembre à octobre, la zone de basses-pressions qui couvrait l'Arabie se trouve en effet remplacée brusquement par l'anticyclone asiatique qui gonfle rapidement. Il déborde dès novembre vers l'extrémité nord-est de la péninsule somalienne, poussant une dorsale le long de la côte de l'Océan Indien. Plus à l'ouest, les basses-pressions associées à la ZCIT reviennent progressivement vers le sud, mais un léger talweg persiste sur le flanc occidental du Massif Ethiopien.

Le régime des vents subit au cours de cette période de profonds bouleversements. La mousson de SW s'affaiblit graduellement, et sur le Golfe d'Aden les vents deviennent variables avant de tourner au N ou au NE. En Mer Rouge, le renversement est plus complet encore, puisque le flux de NW qui dominait jusqu'en septembre fait place à un flux de SE, issu comme dans le Golfe d'Aden de la convergence de la mousson et des alizés établis sur le flanc de l'anticyclone asiatique.

Dans le reste de la Corne, on assiste en octobre à un essoufflement de la mousson, avant son remplacement par l'alizé de NE. Pendant cette période dénommée "tangambili" en Somalie, les vents sont variables et faibles, avec une grande importance des brises côtières. Le retrait concomitant de la ZCIT vers le sud se fait en réalité par à-coups, mais il ne faut pas oublier de toute façon que celle-ci reste très diffuse sur l'Afrique Orientale.

En altitude, le Jet Subtropical d'Ouest intéresse à nouveau progressivement le nord de la région (en général à partir de novembre). La circulation d'est, aux plus basses latitudes, faiblit beaucoup et se trouve reportée au niveau de l'équateur.

IC | LE CHAMP ANNUEL MOYEN DE PRECIPITATIONS.

1) L'originalité pluviométrique: sécheresse équatoriale et azonalité.

Si l'on considère la Corne Orientale de l'Afrique au sein du domaine intertropical, on ne peut manquer de la classer parmi les régions globalement sèches. Bien que certains secteurs soient abondamment arrosés, ils ne représentent que des surfaces restreintes, et de très vastes régions reçoivent moins de 400 mm annuels (voir fig.3).

Ceci est d'autant plus frappant que la plupart des régions situées aux mêmes latitudes, en gros entre 5°S et 12°N, c'est-à-dire au voisinage de l'équateur, enregistrent une forte pluviosité annuelle (citons l'Amazonie, l'Asie du Sud-Est et même le reste de l'Afrique). Il existe bien là une anomalie de taille à l'échelle planétaire, reconnue depuis longtemps (voir par exemple TREWARTHA 1961).

Autre originalité, la disposition des isohyètes est bien souvent méridienne, contrairement à ce qu'on peut observer dans bien d'autres régions tropicales (notamment en Afrique) où, globalement, les précipitations diminuent zonalement de part et d'autre de l'équateur. La carte de la pluviométrie annuelle montre ici que les secteurs les plus arrosés (plus de 1200 mm) se situent en bordure occidentale (curieusement la plus éloignée de l'Océan Indien), tandis que c'est l'extrémité Est de la Corne qui bat des records d'aridité (moins de 50 mm).

2) L'importance de l'altitude.

L'examen d'une carte du relief (fig.1) permet de voir qu'il y a une bonne cohérence entre les quantités précipitées et l'altitude. Un recensement des régions humides montre qu'elles correspondent en grande partie aux zones montagneuses: Massif Ethiopien, Hautes-Terres Kenyanses, et quelques "îlots" de relief important (dorsale nord-somalienne, Mt Kilimandjaro, ...). Les zones sèches incluent des basses-plaines (Nord-Est du Kenya, Somalie Centrale, Dépression Dankalie) et des zones côtières (littoraux de la Mer Rouge, du Golfe d'Aden, et de l'Océan Indien dans son tronçon somalien).

Les stations reportées sur la figure 4, qui présente les précipitations annuelles moyennes en fonction de l'altitude, illustrent bien ce schéma général. La relation

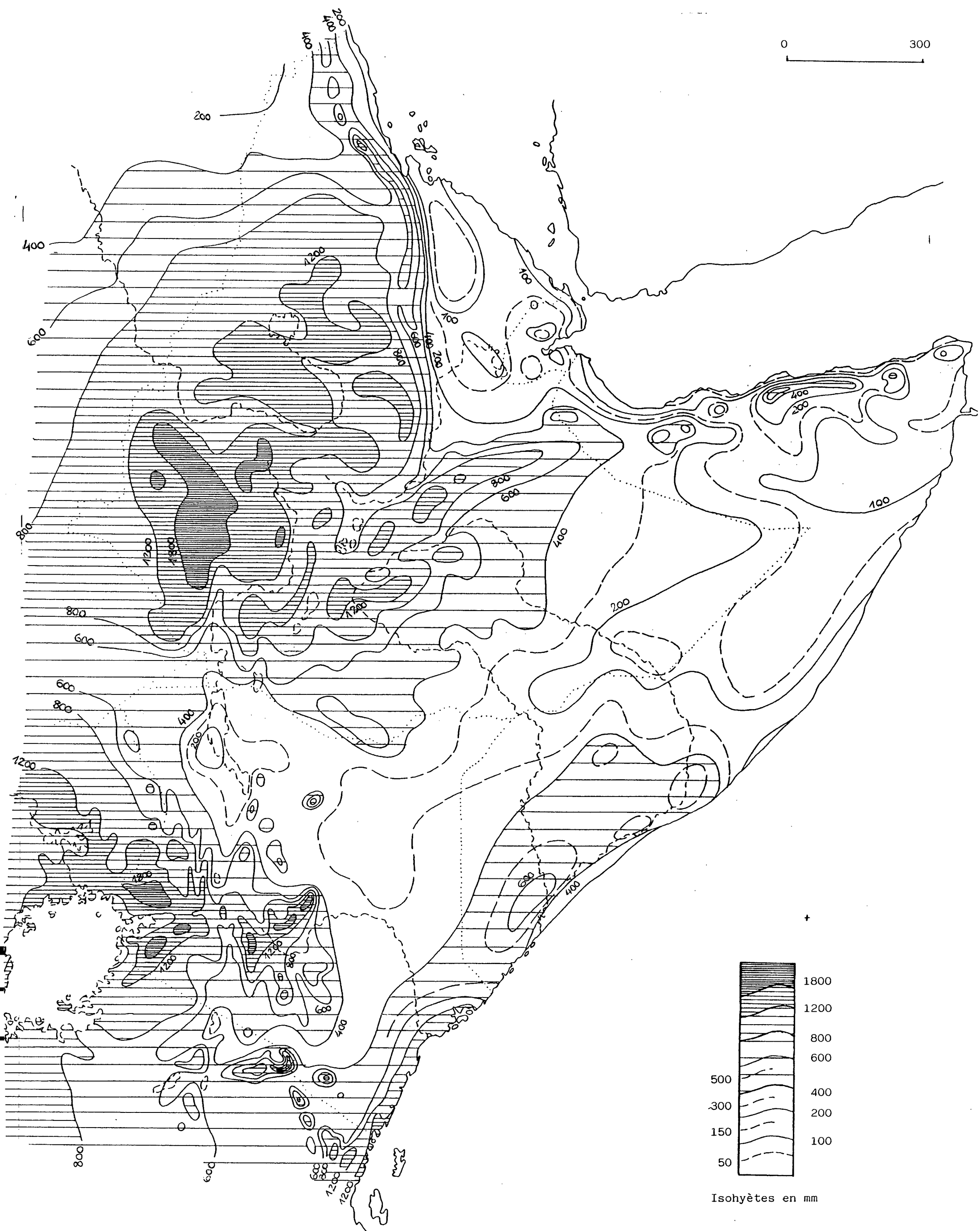


Figure 3 : PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES

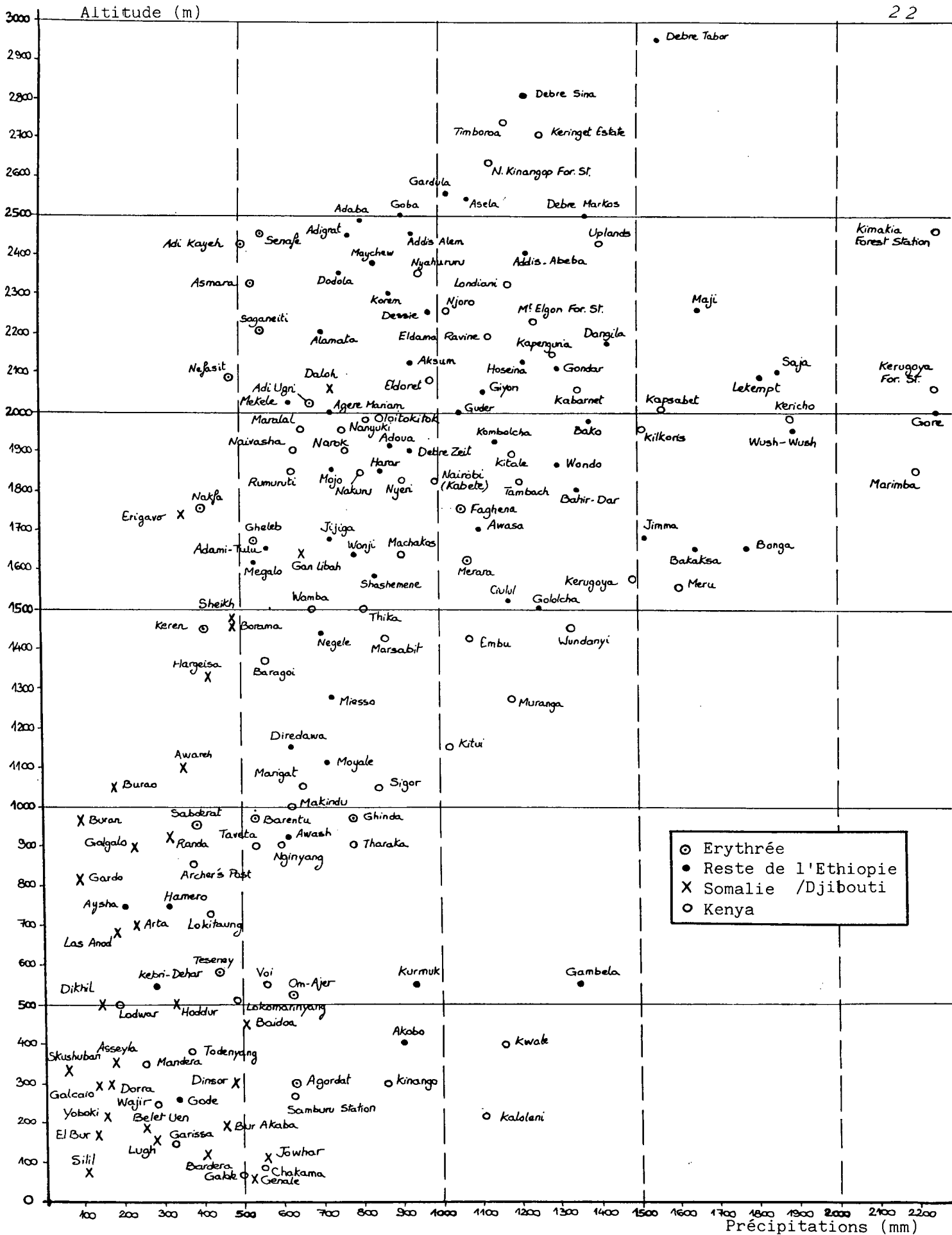


Figure 4 : RELATION ENTRE L'ALTITUDE ET LA PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE

peut être mise sous forme d'équation: GALLAIS (1985) l'a fait pour le versant oriental du Massif Ethiopien, ce qui nous donne les deux équations suivantes (avec P la pluviométrie moyenne annuelle, et A l'altitude en mètres):

$$P = A / 2 + 50 \text{ (Pour le Sidamo)}$$

$$P = A / 3 + 100 \text{ (Pour le Harar)}$$

3) Les altérations à la relation précipitations/ altitude.

Si l'on travaille à l'échelle de la Corne, on constate malgré tout qu'un certain nombre de régions ne s'insèrent pas dans le modèle général de croissance des précipitations avec l'altitude:

- La côte kényane est très arrosée (800 à 1400 mm), contrairement à tous les autres littoraux de la Corne de l'Afrique, où c'est presque toujours l'intérieur (même à peu de distance du rivage) qui reste le plus favorisé. On notera à ce sujet que ceci est vrai souvent même en l'absence de relief sublittoral (comme en Somalie du Sud).

- Quelques secteurs, pourtant inclus dans de hauts massifs, présentent une relative déficience pluviométrique. Ce sont en général des bassins ou vallées d'altitude en position d'abri, ainsi la Rift Valley en Ethiopie et au Kenya, la haute-vallée du Nil Bleu ou celle du Wabi Shebelle. Les plus hauts sommets connaissent aussi des abats médiocres: c'est le cas du Mt Kenya ou du Mt Kilimandjaro (peut-être aussi de certains sommets éthiopiens, mais le fait y est beaucoup plus mal étudié -voir plus bas les remarques sur la notion d'optimum pluviométrique-).

- Au contraire, il existe quelques zones d'altitude moyenne ou faible qui enregistrent de très abondantes précipitations: ce sont cependant toujours des zones de piémonts relatifs (Sud-Ouest de l'Ethiopie, escarpement érythréen au-dessous d'Asmara,...).

La figure 4 permet de compléter ces quelques observations. A altitude égale, une étude stationnelle montre que le schéma méridien (façade ouest plus arrosée que façade est) est très imparfait. Il est vrai que Gambela et Kurmuk, sur le piémont occidental du Massif Ethiopien, sont beaucoup plus arrosées que Voi,

Baidoa ou Dikhil, toutes stations pourtant situées à même altitude, dans l'Est de la Corne. Mais en Erythrée, Ghinda (770 mm à 970 mètres), en façade E., et Sabderat (390 mm à la même altitude et même latitude), en façade W., montrent l'exemple inverse.

Au Kenya, certaines stations tournées vers l'E. (Meru, Kerugoya, Uplands) sont nettement plus arrosées que d'autres stations situées dans l'W. (Eldoret, Narok ou Baragoi).

Malgré ces irrégularités liées à l'exposition, il subsiste dans l'ensemble -et à altitude constante- un schéma de diminution des précipitations en allant vers le NE, du même type que celui mis en évidence par RAHEMTULLA (1971) pour le seul Kenya. Ce dernier a calculé une équation de régression liant les précipitations moyennes annuelles (P) à l'altitude (A), la latitude (La) et la longitude (Lo), à partir de 56 stations kényanes, et qui constitue une représentation très satisfaisante de la réalité:

$$P = 0,22 A - 61,6 La - 57,1 Lo + 2700$$

Sans vouloir chiffrer la relation, le graphique 4 montre bien que, pour la plupart des stations, la pluviométrie décroît bien quand l'altitude diminue, et quand la latitude et la longitude augmentent. C'est enfin ce que trouve GALLAIS (1985) à l'échelle du rebord oriental du Plateau Ethiopien.

4) Remarques sur l'optimum pluviométrique.

L'équation précédente ne tient pas compte de la décroissance des précipitations au-delà d'une certaine altitude, niveau communément dénommé "optimum pluviométrique". L'étude de ce dernier nécessite l'existence d'une bonne définition spatiale du réseau de postes pluviométriques, ce qui est rarement réalisé en Afrique du Nord-Est. La figure 4, ainsi que divers travaux (THOMPSON 1966, BROWN & COCHEME 1973, FANTOLI 1965 et 1966) permettent l'étude de quelques situations ponctuelles.

Sur le Mt Kenya, l'optimum semble se situer entre 2000 et 2500 mètres (sans doute plus sur le versant sous le vent, c'est-à-dire tourné au NW). On est assez près des chiffres donnés par FANTOLI pour l'Ethiopie (2400 à 2800 m.) et de ceux déduits de l'observation de la figure 4 pour les massifs d'Ethiopie et du Kenya.

Par contre, on observe un certain nombre de cas où l'altitude de l'optimum semble nettement inférieure. Il s'agit du Mt Kilimandjaro (vers 1500 m. au vent), des versants dominant le Lac Victoria (vers 1700 m.), ainsi que de l'escarpement érythréen face à la Mer Rouge (sans doute pas plus de 1200 à 1300 m.).

Ceci illustre bien la diversité des situations rencontrées. Disons cependant que l'optimum pluviométrique semble se situer d'autant plus bas que le secteur considéré se trouve proche de grandes étendues marines ou lacustres, et qu'il se place au vent par rapport aux flux issus de ces réservoirs de vapeur d'eau.

5) L'intensité des précipitations.

L'intensité des précipitations est un paramètre important, dans la mesure où son impact sur l'agriculture, les sols ou même plus largement l'activité économique peut être considérable.

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, la Corne de l'Afrique connaît des intensités pluviométriques souvent basses en regard d'autres régions tropicales. Les intensités moyennes (mesurées de façon il est vrai très imparfaite par le rapport du total de précipitations au nombre de jours de pluie) sont en général comprises entre 8 et 10 mm par jour avec précipitations. Les chiffres les plus élevés (fig.5) sont observés avant tout dans les plaines intérieures (Somalie, Kenya) et sur les piémonts (bordure occidentale de l'Ethiopie notamment). En revanche, les régions côtières ainsi que les hauts-plateaux connaissent les plus faibles intensités (4 à 8 mm/j.p.). On voit donc que l'intensité moyenne des précipitations n'est pas du tout fonction du total annuel de précipitations.

La même remarque est valable si l'on considère les précipitations maximales relevées en 24 heures. De nombreuses stations d'altitude, très arrosées, ont des intensités maximales particulièrement faibles: Addis-Abeba (1200 mm annuels, à 2400 m.) n'a jamais reçu plus de 81 mm en une journée (30 ans d'observations). A Equator, au-dessus d'Eldoret dans l'Ouest du Kenya, ce chiffre est de 66 mm seulement (25 ans), pour une moyenne annuelle de 1222 mm.

Au contraire, la plupart des stations littorales ont enregistré des abatements de plus de 100 mm en 24 heures (à l'exception de l'extrémité de la Corne). Ceci est vrai pour les stations bien arrosées du Kenya littoral, mais aussi pour celles des côtes très sèches de la Mer Rouge et du fond du Golfe d'Aden. Ainsi Djibouti a-t-elle

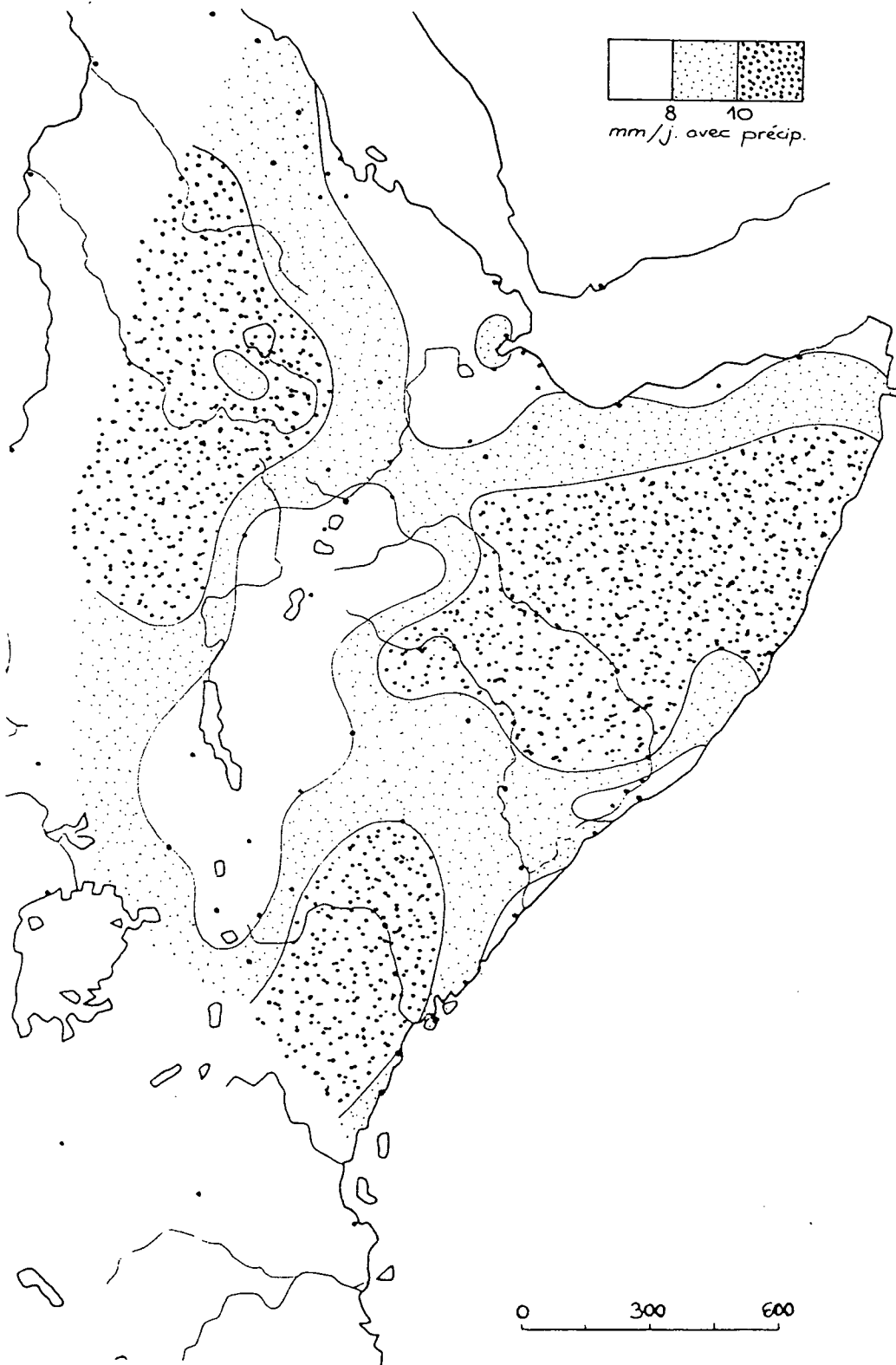


Fig. 5 : INTENSITE MOYENNE ANNUELLE DES PRECIPITATIONS

reçu jusqu'à 162 mm en 24 heures (total annuel moyen: 130 mm), et Berbera 132 mm (soit en une journée près de 3 fois le total annuel!). Ces abats exceptionnels sont en fait partout assez bien liés au potentiel précipitable existant en un lieu donné: celui-ci est très fort dans les plaines somaliennes et dans le fossé Mer Rouge / Golfe d'Aden, bien que les conditions pluviogéniques soient rarement favorables, et faible à l'inverse en altitude, où la couche d'air humide est beaucoup moins épaisse. Ceci explique également les intensités moyennes observées sur la figure 5. Notons seulement que sur les littoraux, l'importance des brises de terre et de mer, favorisant de fréquentes pluies locales de faible intensité, rend compte des intensités moyennes assez basses, alors qu'on peut exceptionnellement y observer de forts abats.

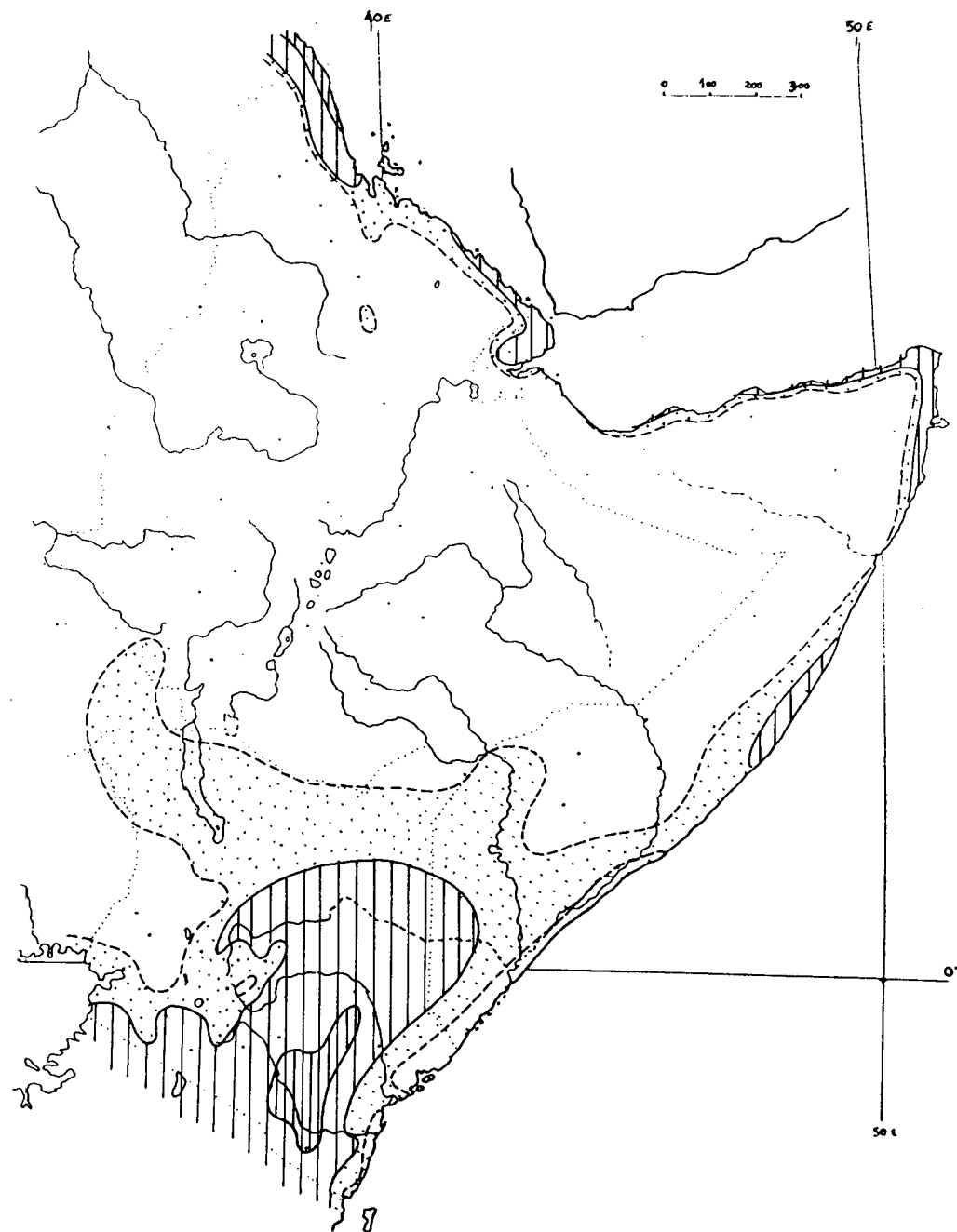
Conclusion

L'examen du champ annuel de précipitations a donc montré qu'il existait, par delà la dominante sèche inhabituelle à de telles latitudes, une forte diversité, pour une bonne part reflet de l'altitude et de l'exposition. Les oppositions sont flagrantes, laissant finalement peu de place aux zones à pluviométrie intermédiaire. L'espace peut être partagé en 5 régions, parmi lesquelles on distingue 3 secteurs bien arrosés:

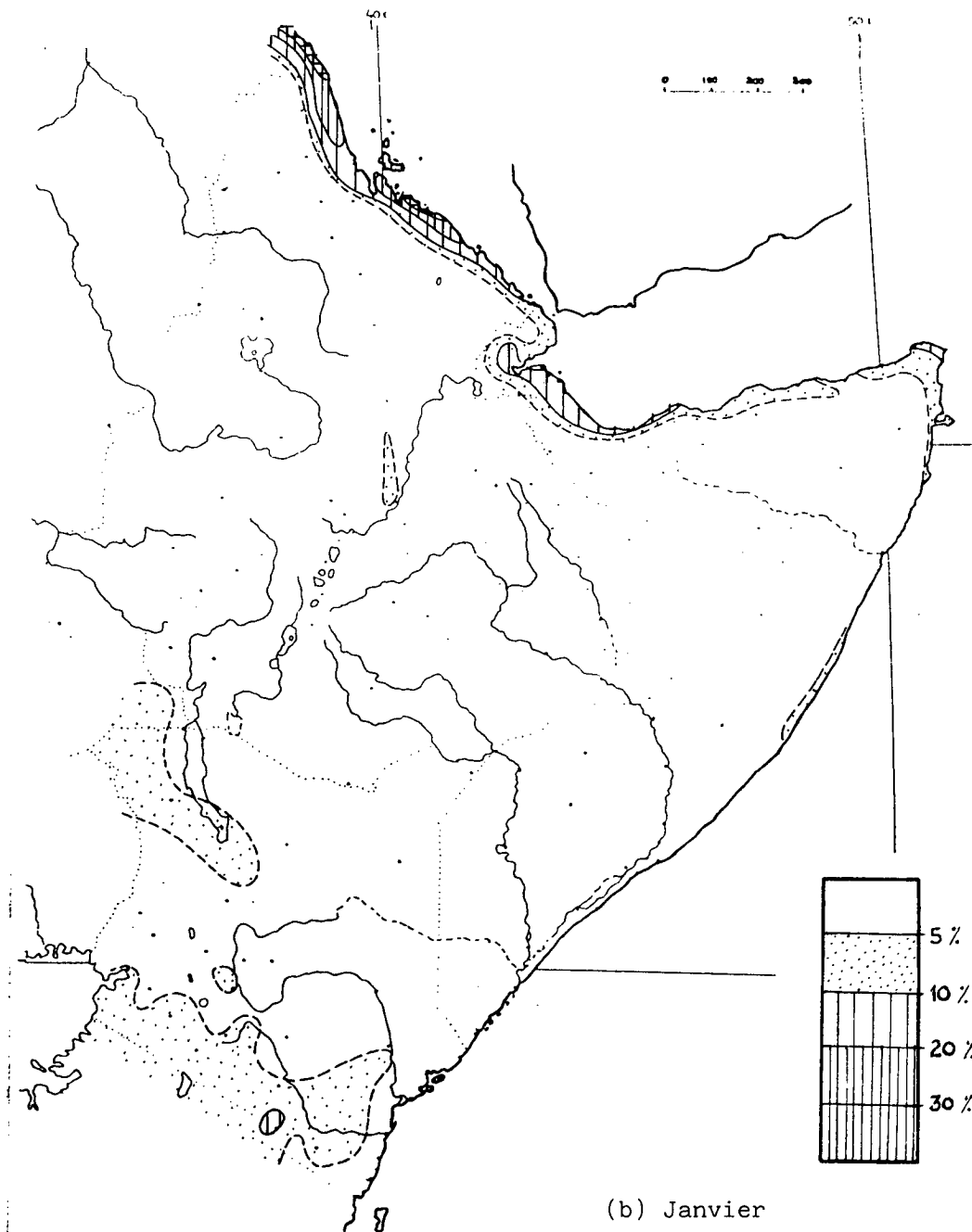
- le Massif Ethiopien et ses prolongements Erythréen et Nord-Somalien;
 - les Hautes-Terres du Kenya;
 - le littoral kényan (et à la limite les régions sublittorales de Somalie du Sud);
- et 2 ensembles très secs:
- les littoraux Mer Rouge / Golfe d'Aden, avec la Dépression Dankalie;
 - les plaines et bas-plateaux de Somalie, de l'Ogaden, du Nord et de l'Est du Kenya.

1 D / LA SUCCESSION DES SAISONS PLUVIOMETRIQUES.

L'examen des champs de précipitations moyens mensuels (fig.6a à 6l) nous permet de préciser comment les pluies se répartissent dans le temps. Les cartes présentées ici décrivent la pluviométrie mensuelle en pourcentage du total annuel; on l'a préférée à la pluviométrie brute, celle-ci soulignant invariablement les zones montagneuses, et montrant donc médiocrement la dynamique de répartition des précipitations d'un mois à l'autre. Il convient d'avoir toujours en mémoire la carte

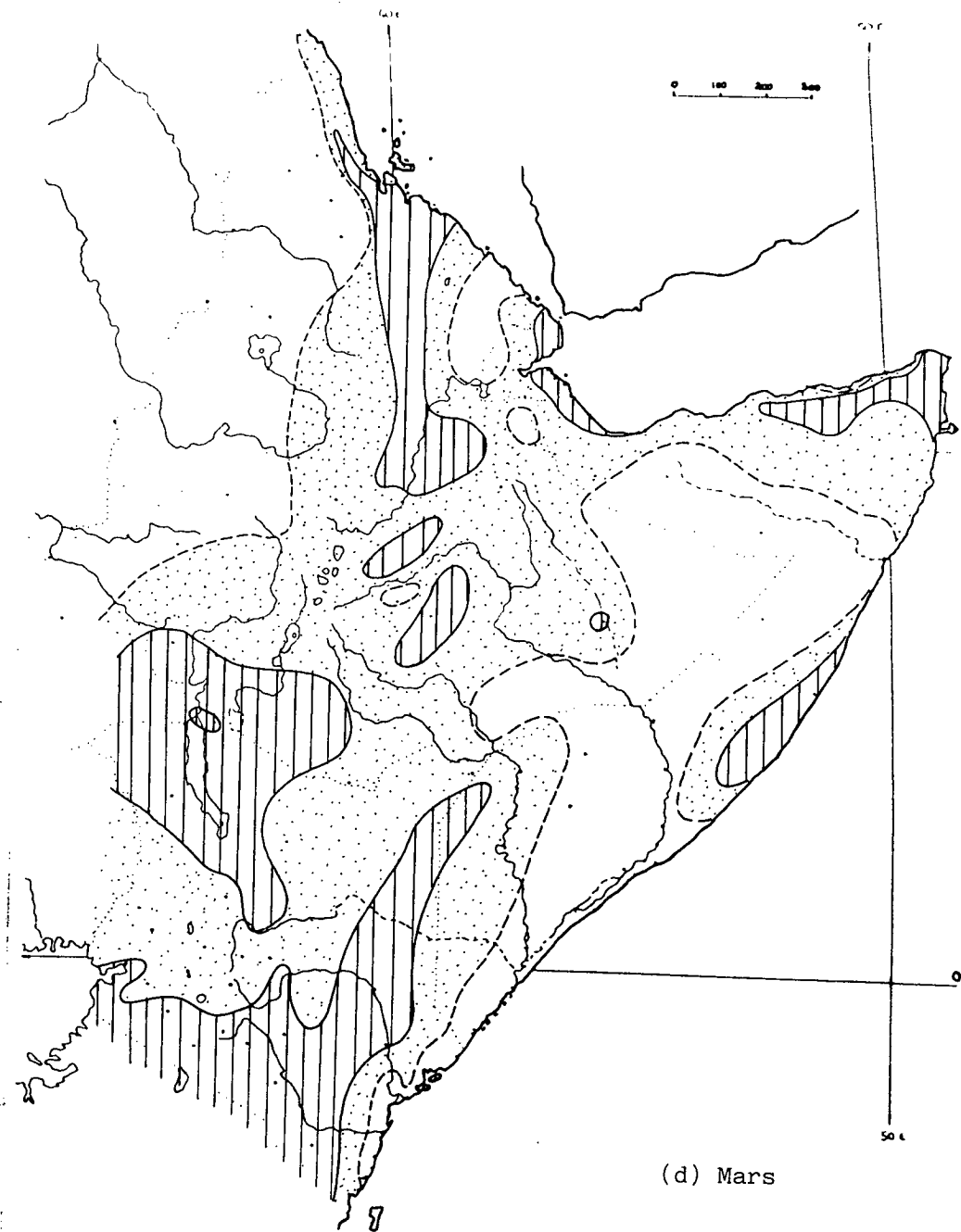
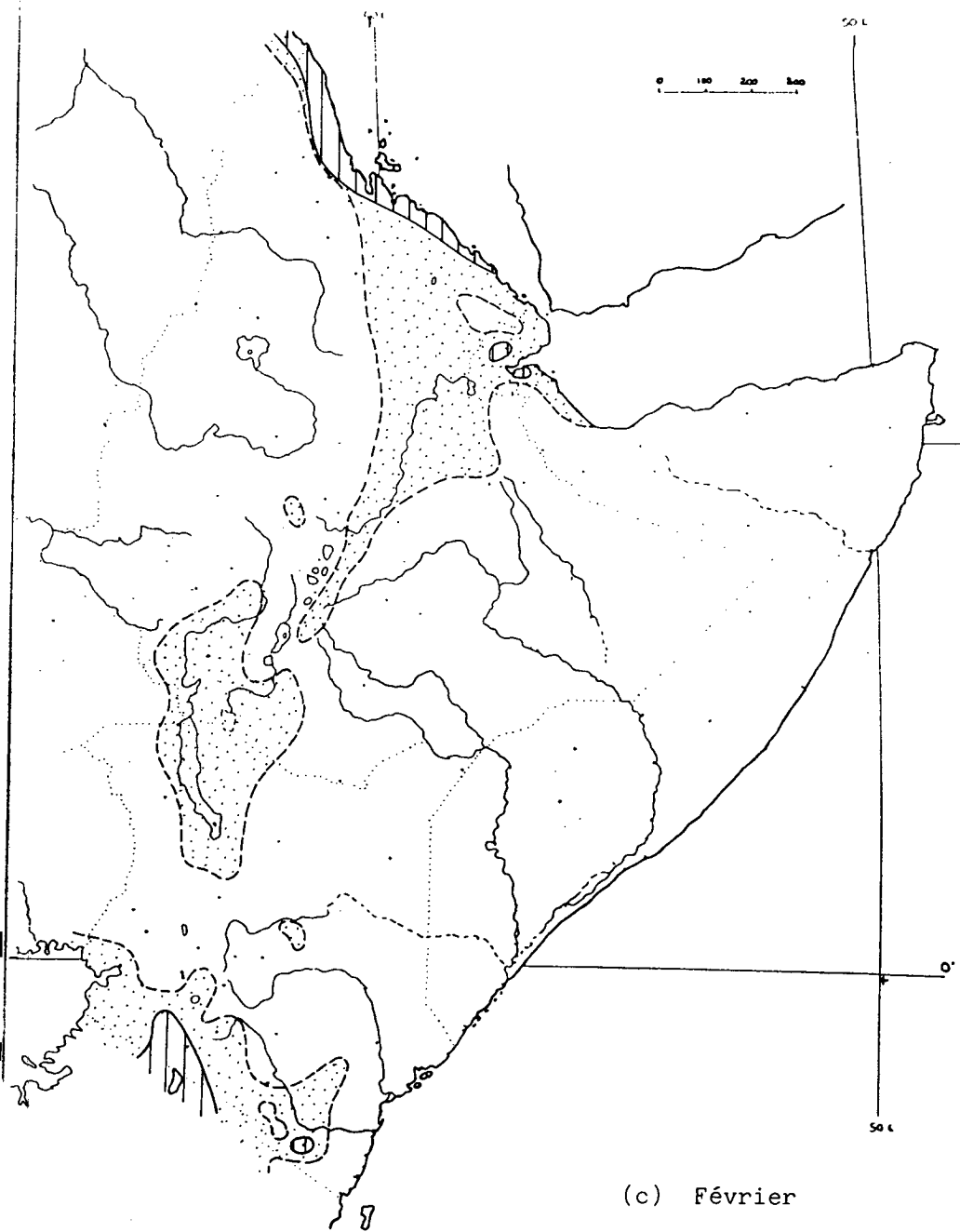


(a) Décembre



(b) Janvier

Figures 6: PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES EN POURCENTAGE DU TOTAL ANNUEL



de la pluviométrie annuelle pour pouvoir éventuellement "pondérer" les valeurs relatives obtenues pour certains mois.

Par commodité, l'année est découpée en 4 saisons pluviométriques. La variété des situations régionales fait que ce découpage n'a pas nécessairement de réalité pour chacune des régions de la Corne.

1) La sécheresse de l'hiver boréal (décembre à mars).

a) Description des champs pluviométriques mensuels.

Ces 4 mois sont, pour l'Afrique du Nord-Est prise dans son ensemble, les plus secs de l'année. Les zones concernées par les pluies sont essentiellement périphériques, et la plupart des régions, soumises à l'alizé de nord-est à est, sont caractérisées par une quasi-absence de précipitations.

* En décembre (carte 6a), deux secteurs reçoivent des pluies substantielles:

- Le Sud et l'Est du Kenya (hormis la bande littorale) ont des pluies souvent abondantes (plus de 50 mm), même dans les zones de relief médiocre, mais exposées à l'est. Dans ces régions, ce mois fait encore partie de la deuxième saison des pluies ("petites pluies").

- A l'opposé, des pluies se produisent le long du Golfe d'Aden et surtout de la Mer Rouge, mais elles ne concernent pas l'arrière-pays (jamais au-delà de 50 à 80 km du trait de côte). Elles ne sont abondantes que localement, lorsque les conditions topographiques s'y prêtent, c'est-à-dire sur les premières pentes en retrait de la côte (91 mm à Ghinda, 122 à Faghena, en Erythrée du Nord).

* Janvier et Février (cartes 6b et 6c) sont, sauf exception, les deux mois les moins arrosés de l'année. Les abats supérieurs à 50 mm sont extrêmement localisés, à l'extrême-Sud du Kenya, et dans quelques îlots montagneux. Les littoraux de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden gardent des précipitations non négligeables, surtout si on les rapporte au total annuel. Le Nord de l'Erythrée (au-dessous du plateau seulement) est toujours privilégié, en plus de quelques stations isolées bien exposées (Randa en République de Djibouti par exemple). La seule différence entre janvier et février est que, pour ce dernier mois, on commence à observer des précipitations sensibles sur les rebords de la Rift Valley éthiopienne (autour de 50 mm mensuels).

* Mars constitue un mois de transition vers la saison des pluies de printemps boréal. Excepté sur la façade de la Mer Rouge (où il y a fléchissement des pluies), on note une augmentation généralisée des précipitations. Celle-ci affecte principalement les bordures est et sud des plateaux d’Ethiopie et du Kenya. La côte de l’Océan Indien accuse cependant un net retard, car elle reste plutôt sèche. Les régions les plus favorisées sont assez disparates (ce qui montre que la saison des pluies n’est pas encore réellement installée): il s’agit de l’extrême-Sud du Kenya, du rebord Sud du plateau éthiopien (région du Gemu-Gofa dominant le Lac Turkana), et de la Rift Valley d’Ethiopie (en particulier ses rebords montagneux).

b) Origine et caractéristiques des précipitations.

Comme on pouvait s’y attendre, les intensités calculées sont assez médiocres, bien que variables selon les mois et surtout selon les stations: elles sont généralement minimales en décembre et janvier (en moyenne 5 à 6 mm par jour avec précipitations, et moins sur les plateaux éthiopiens). Assez logiquement, les quelques secteurs bien arrosés (escarpements dominant la Mer Rouge, Sud du Kenya) sont les seuls qui enregistrent de fortes intensités.

En février, les intensités augmentent à peine. Par contre, le mois de mars, qui se rattache déjà dans certaines régions à la première saison des pluies, voit une augmentation considérable des intensités (7 à 12 mm/j.p.) dans ces mêmes régions.

Un autre indicateur intéressant est la hauteur maximale relevée en 24 heures. Dans l’ensemble, les valeurs sont plutôt faibles, et d’autant plus que la pluviométrie moyenne est faible. Il faut cependant faire d’importantes distinctions régionales:

- Sur les plateaux éthiopiens, on relève des valeurs assez importantes, surtout en mars, et malgré la faiblesse des totaux mensuels. Dans plusieurs stations, on relève même curieusement les chiffres les plus élevés de toute l’année: 69 mm en 24 h à Diredawa en février, 81 mm en mars à Addis-Abeba, et 61 mm en mars également à Hargeisa. En fait, on constate qu’il n’y a durant cette période qu’un tout petit nombre de jours très arrosés, les autres jours enregistrant des pluies durables mais très peu abondantes (de l’ordre d’1 mm/h d’après des mesures effectuées à Hargeisa).

- En Somalie et au Kenya, les précipitations maximales en 24 heures sont faibles, en liaison avec une pluviométrie réduite. Elles augmentent toutefois du N au S, où elles dépassent 30 mm/j, surtout en mars. C’est sur le littoral de l’Océan Indien

qu'elles sont les plus fortes, avec 65 mm à Mogadiscio et Lamu, et 106 mm à Mombasa (mars).

- Le littoral de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden se trouve dans une situation très particulière. Si dans l'Est les intensités sont extrêmement faibles (mais la moyenne des précipitations est voisine de zéro), en Erythrée et en République de Djibouti, au contraire, on peut observer en 24 heures des abats considérables, les plus importants de l'année. C'est le cas dès décembre à Massawa, en Erythrée (156 mm/24h), mais plus tard (mars) à Djibouti (162 mm), Berbera (132 mm) et Obock (136 mm). Ces chiffres sont particulièrement élevés si on les compare aux très médiocres moyennes mensuelles. De tels abats ne sont du reste pas si rares, puisqu'à Djibouti, plus d'une année sur dix, en décembre, février et mars, des chiffres d'au moins 50 mm en une journée sont réalisés. On garde d'ailleurs en mémoire, au Sud-Yémen et dans le Nord de la Somalie, les inondations catastrophiques du mois de mars 1989.

Sans entrer dans le détail des mécanismes pluviogènes, voyons brièvement à quels phénomènes les précipitations d'hiver sont liées. Là encore, plusieurs régions doivent être discernées:

- Dans le Massif Ethiopien, on enregistre surtout quelques averses de fin d'après-midi, associées à des mouvements convectifs locaux sur les plus hauts reliefs. Les orages proprement dits restent rares (moins d'un jour de pluie sur quatre), sauf en mars.

- Le long de la Mer Rouge, les précipitations ont pour origine principale des convergences dans les basses couches de l'atmosphère (flux de SE venant du Golfe d'Aden, et flux de NW, issu du Nord de la Mer Rouge). En général, la région est affectée par une couche humide peu épaisse (1500 à 1800 mètres), ce qui exclut les pluies des plateaux érythréens, et les limite aux littoraux et aux premières pentes. Les pluies faibles associées à cette convergence sont renforcées localement par une puissante circulation diurne (alternance de brises de terre et de mer) notamment le long de l'abrupt escarpement érythréen (FLOHN 1965). Des perturbations plus organisées peuvent à l'occasion se manifester, et affecter alors le sud de la Mer Rouge et le fond du Golfe d'Aden. Elles semblent être associées à deux dispositions (BEAU et al. 1976):

- soit une alimentation directe en air froid d'Arabie dans les couches moyennes;

- soit la descente (rare) d'un front froid en Mer Rouge, qui reprend vigueur au-dessus des eaux chaudes du Golfe d'Aden près de Djibouti, et peut donner des précipitations extrêmement fortes.

- Dans le reste de la Corne, enfin, les maigres pluies résultent d'averses très isolées, rarement associées à des manifestations orageuses, sauf sur les reliefs les plus importants.

2) La première saison de transition (avril/mai).

a) Présentation des champs pluviométriques mensuels.

Cette saison de transition, initiée au mois de mars, est une saison pluvieuse dans une grande partie de la Corne, à l'exclusion de l'extrême Nord-Ouest de l'Éthiopie. C'est en effet pendant cette saison que l'on assiste, sur la façade "indienne" de la région, à la remontée de la ZCIT du sud vers le nord.

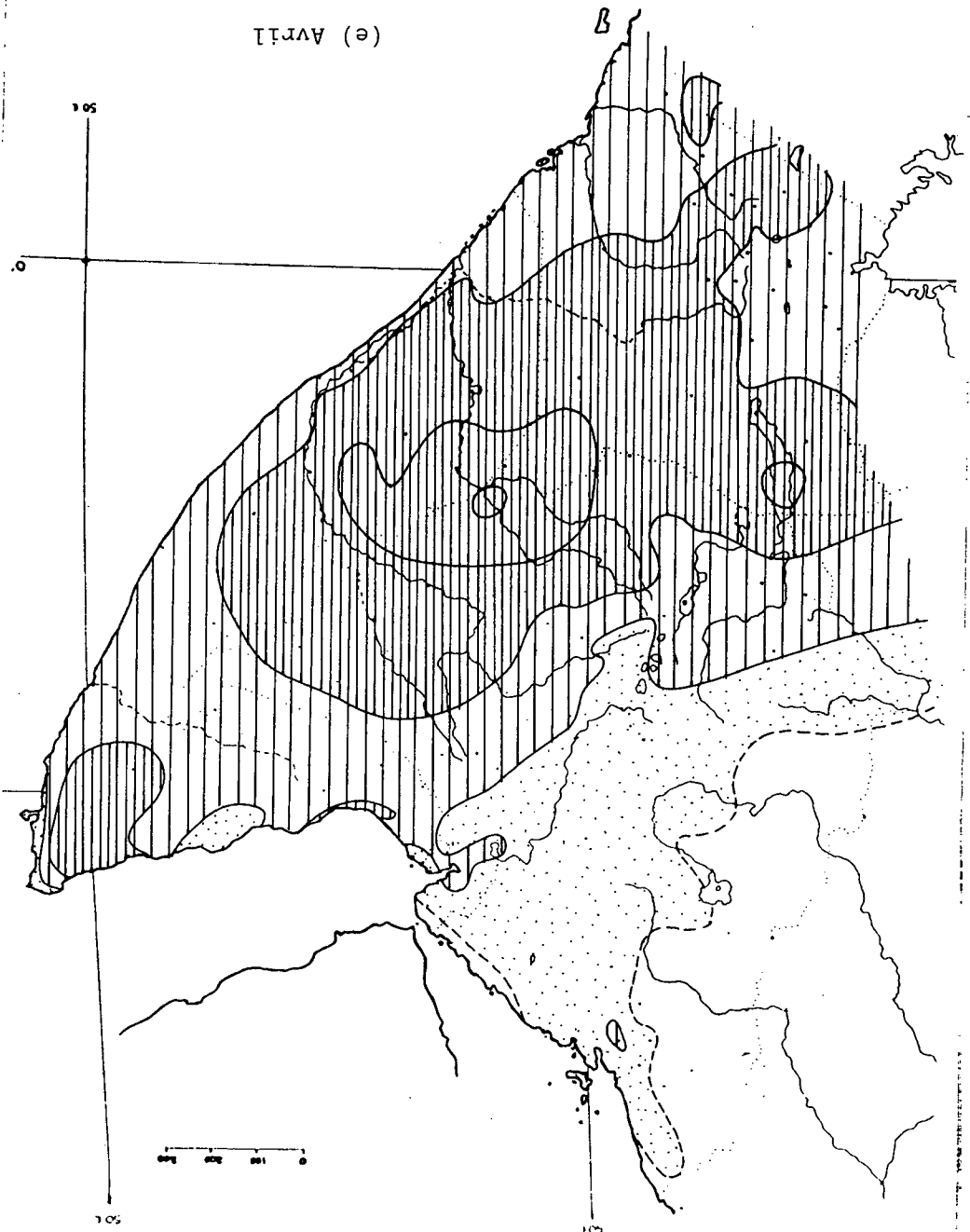
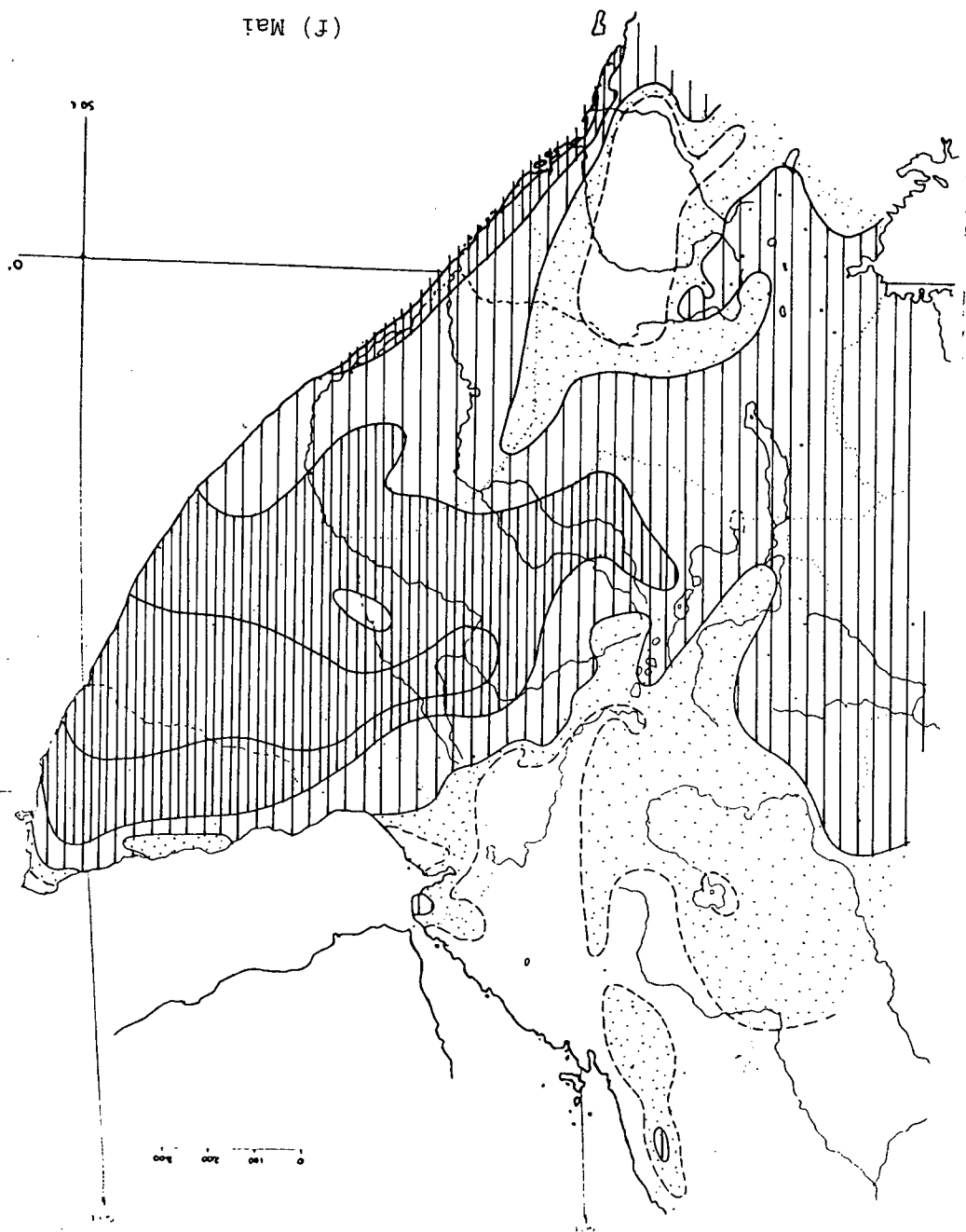
* Avril est, pour de très nombreuses stations kényanes et somaliennes, le mois le plus arrosé de l'année. Les rebords sud et est des massifs éthiopiens délimitent une vaste zone bien arrosée (surtout en valeur relative). Les secteurs privilégiés (plus de 100 mm de pluies) comprennent:

- Au Kenya, les hautes-terres ainsi que la bordure littorale. Les premiers reliefs tournés vers l'E ou le SE, en direction de l'Océan Indien, sont particulièrement favorisés (233 mm à Nairobi-Kabete, 277 mm à Embu sur les pentes du Mt Kenya).

- En Somalie du Sud, très curieusement, c'est la disposition inverse qui prévaut, puisque le littoral reste médiocrement arrosé (30 à 60 mm) tandis qu'une vaste région sublittorale, pourtant morphologiquement semblable à la côte, reçoit plus de 100 mm (148 mm à Baidoa).

- Sur les plateaux et les massifs du Sud ou de l'Est Éthiopien, avril est bien pourvu, avec entre 80 et 200 mm selon l'exposition (l'orientation SE étant là encore la plus favorable). Signalons quand même qu'au niveau du triangle dankali, avril est bien arrosé, surtout le long des escarpements, bien que cette région soit apparemment plus abritée des flux issus de l'Océan Indien.

* En Mai, la disposition du champ pluviométrique est semblable à celle d'avril dans ses grandes lignes.



La zone pluvieuse se déplace vers le nord en suivant le mouvement de la ZCIT, mais exclut toujours le Nord de l'Éthiopie. La Somalie du Nord connaît à son tour des précipitations non négligeables, mais qui resteront bien plus faibles que celles enregistrées en avril plus au sud. Une franche augmentation de la pluviométrie se remarque également sur l'Ouest du plateau éthiopien. Inversement, les pluies tendent à diminuer sur le Kenya, tout particulièrement sur une large bande sèche comprise entre les régions littorales et les hautes-terres de l'intérieur.

Deux faits étonnants sont à noter:

- Sur la côte du Kenya et du Sud-Somalien, les précipitations, au lieu de diminuer, augmentent fortement, contrastant en cela avec ce qui se passe à moins de 100 km dans l'intérieur. Les abats dépassent 300 mm en mai sur le littoral kényan.
- Inversement, la vaste Dépression Dankalie et ses bordures, bien qu' en position très septentrionale, enregistrent une nette diminution de la pluviométrie (13 mm à Diredawa, contre 93 en avril).

b) Origine et caractéristiques des précipitations.

Cette période se caractérise donc sur une grande partie de la région par une pluviométrie plutôt abondante, mais aussi par de fortes intensités moyennes. Excepté sur les plateaux du Nord-Ouest éthiopien, les plus fortes valeurs de l'année s'observent bien souvent soit en avril, soit en mai: presque toujours plus de 8 mm par jour de pluie, et fréquemment plus de 12. Tout le Kenya, y compris les régions occidentales à maximum pluviométrique d'été, enregistre ses plus fortes intensités annuelles au printemps boréal. Ces précipitations intenses sont également fréquentes en Somalie et près du Golfe d'Aden.

De même, c'est à cette saison que l'on note les plus forts abats en 24 heures, au Kenya comme dans toute la Somalie. C'est le cas dès mars dans le triangle Djibouti-Berbera-Diredawa, surtout sur les versants orientés au nord (voir plus haut). Ailleurs, les chiffres les plus élevés sont observés généralement en mai, parfois en avril dans les régions basses du Kenya (211 mm à Lamu, 220 à Bardera).

Les origines et mécanismes des précipitations sont toutefois assez différents selon les régions considérées.

Sur la Somalie et le Kenya, le net maximum de précipitations est principalement lié à des phénomènes convectifs assez locaux au sein de la ZCIT, qui parcourt la région du sud au nord entre avril et juin. La ZCIT a un aspect très

diffus en Afrique Orientale, conséquence peut-être du peu de différence qui existe entre les masses d'air australe et boréale, elle-même liée à la configuration d'ensemble des continents et des océans sur ce fuseau. Les perturbations organisées et même les orages sont assez rares (2 par mois à Mombasa -Kenya- et Jowhar -Somalie-), sauf dans les régions à relief tourmenté.

La côte kényane et sud-somalienne, toutefois, serait affectée à partir de mai par des perturbations plus organisées circulant dans le flux des alizés de SE, issus de l'Océan Indien austral (LUMB 1966).

Dans le triangle dankali et ses bordures, en avril et parfois en mai, persiste souvent une activité pluvio-orageuse. Elle serait liée à la combinaison d'une forte humidité et instabilité de surface, avec le passage de dépressions d'altitude au niveau du Jet Subtropical d'Ouest (FLOHN 1965, HABTEMICHAEL 1974). Ces orages peuvent (rarement) se déclencher vers le fond du Golfe d'Aden, où le fort potentiel précipitable explique, comme en mars, de très fortes intensités (inondations meurtrières de Djibouti en avril 1989).

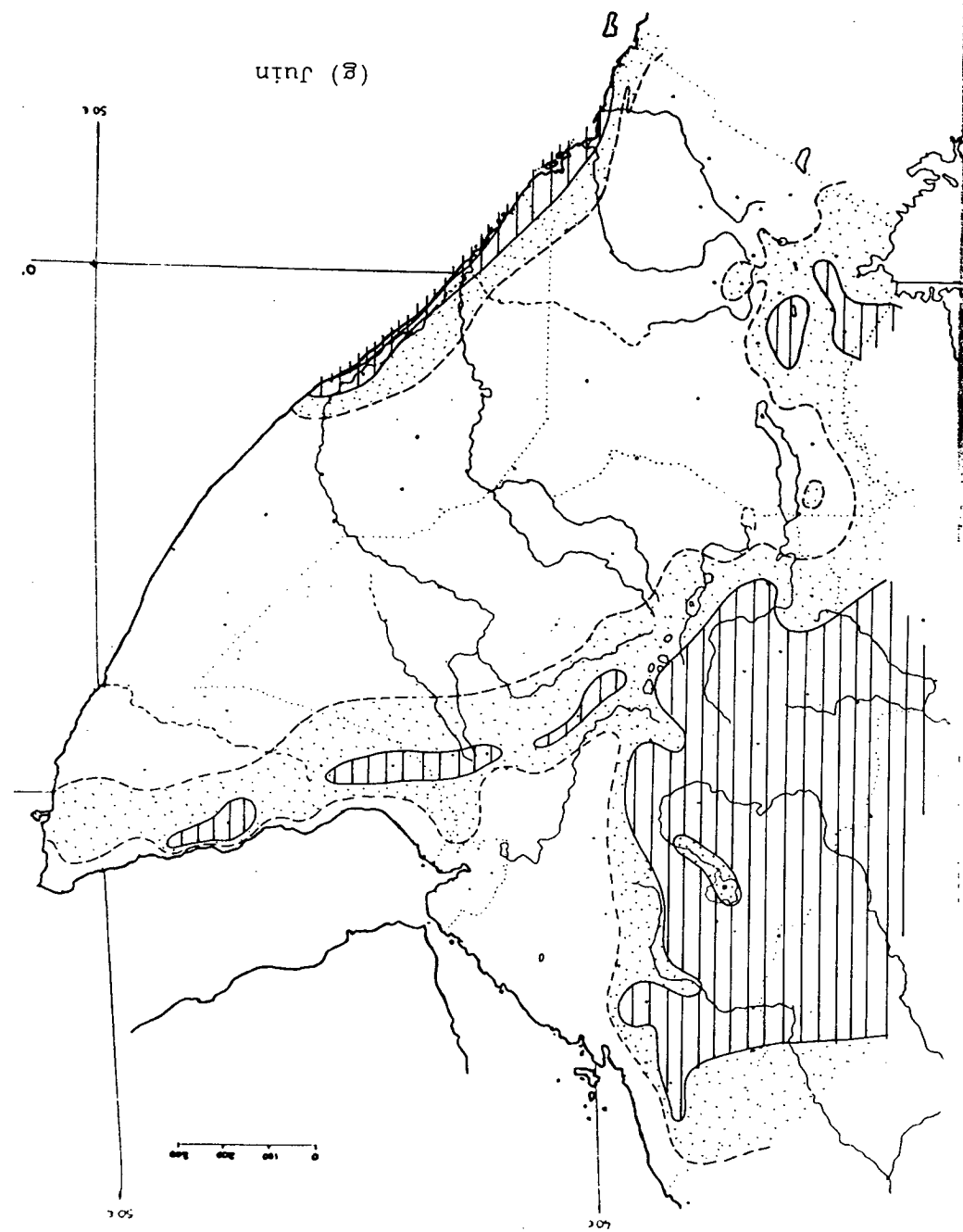
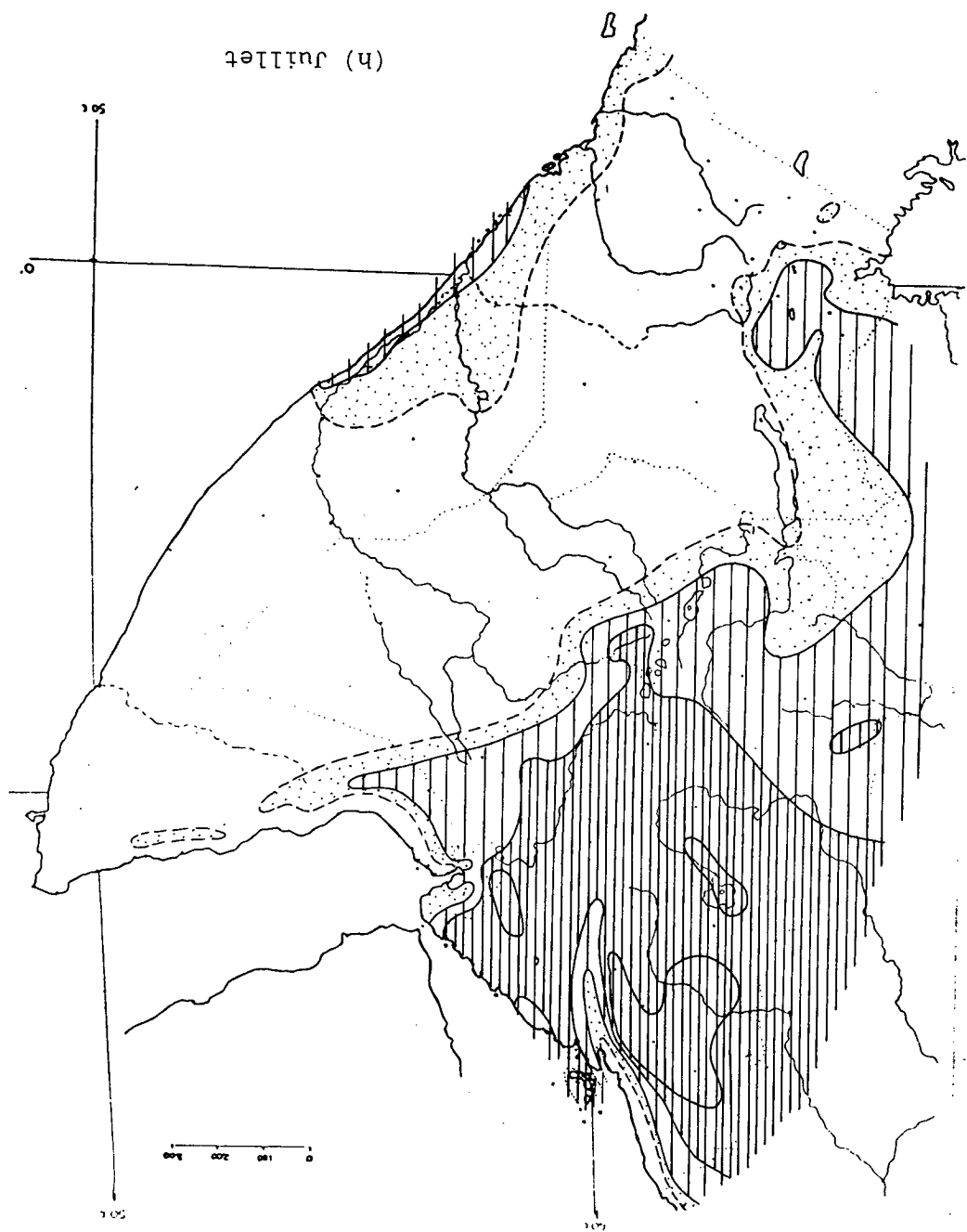
Signalons qu'en mai par contre, l'établissement de vents de SE sur le Nord de la Somalie renforce les pluies sur les versants au vent (côté Ogaden, à Harar notamment), mais ils parviennent asséchés dans la dépression Dankalie et la région de Djibouti après avoir franchi les chaînes montagneuses. Ce phénomène de foehn semble être en partie responsable (avec sans doute la remontée du Jet Subtropical d'Ouest vers une latitude plus septentrionale) de la rémission de mai-juin dans cette région.

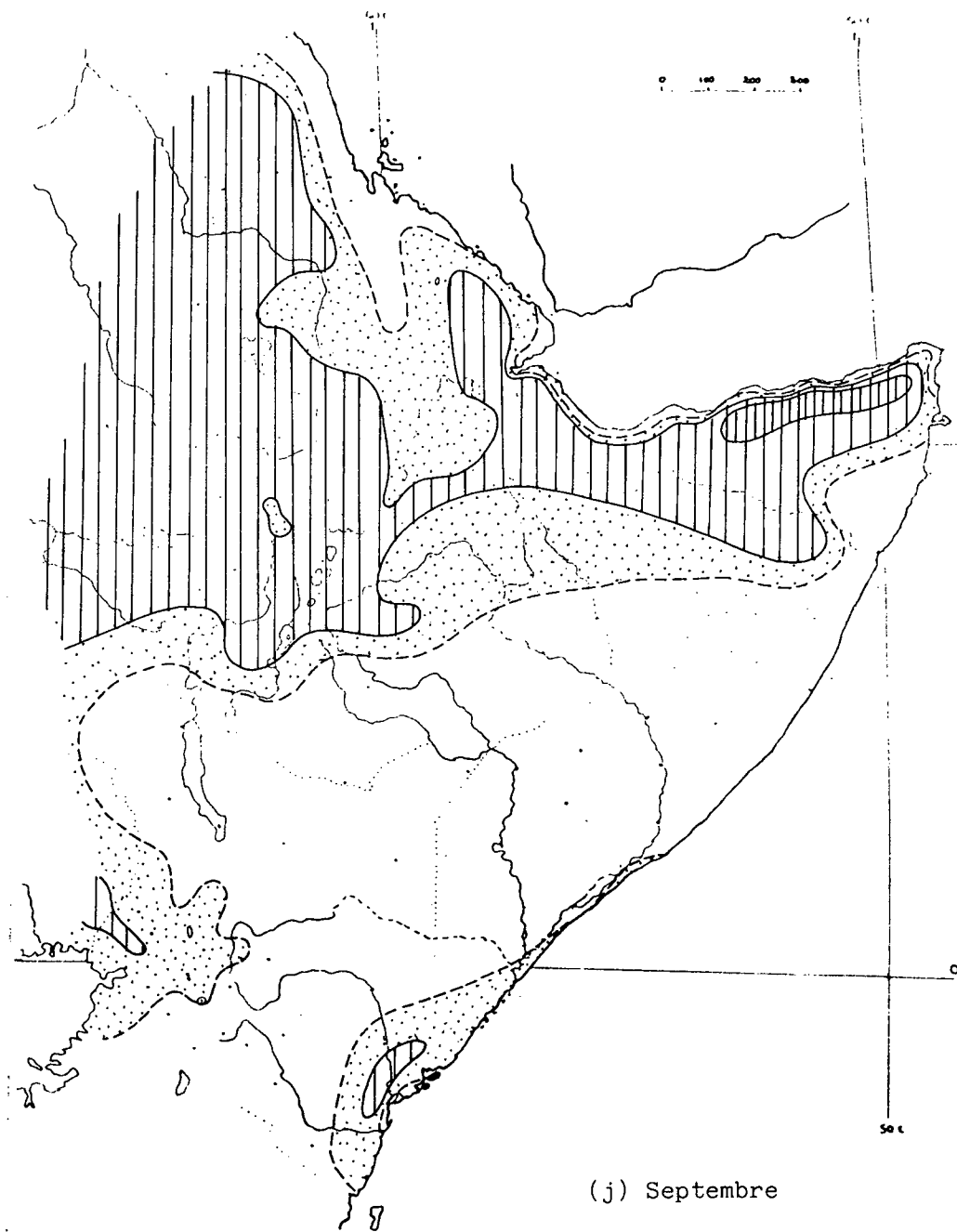
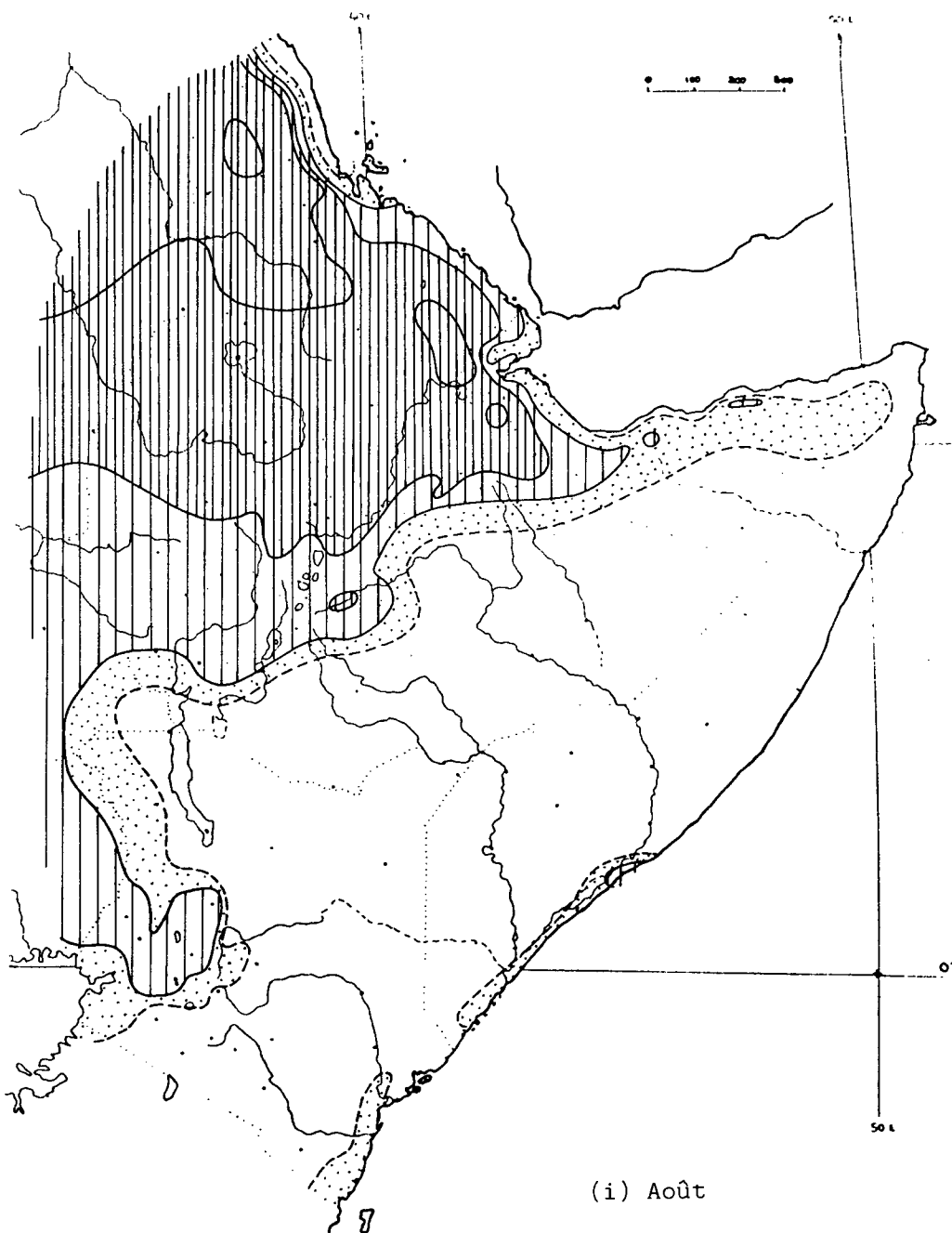
Enfin, en ce qui concerne l'affirmation des pluies sur le Sud-Ouest de l'Ethiopie, elles sont parfois attribuées elles aussi au flux de sud-est issu de l'Océan Indien, mais il est bien difficile de dire quelle est la part de ce dernier par rapport à la mousson soudanaise (d'origine atlantique ou congolaise).

3) La mousson d'été (juin à septembre).

a) La dynamique des champs pluviométriques mensuels.

L'installation de la mousson d'été sur l'Afrique et l'Océan Indien, qui persiste de juin à septembre, est à l'origine d'une grande stabilité dans la distribution des régions sèches ou arrosées. Avant tout, c'est l'époque des "grandes pluies" sur les massifs éthiopiens, et de la sécheresse dans les basses-terres du Kenya et de Somalie.





* Juin voit s'effectuer un changement radical dans la distribution des pluies par rapport à mai. On observe en effet un effondrement de la pluviométrie dans la plupart des régions somaliennes et kényanes. Les totaux mensuels deviennent brutalement nuls sur une vaste diagonale du Sud du Kenya à l'Oued Nugal (Somalie du Nord). Seuls les hauts massifs de l'Ouest du Kenya conservent une bonne pluviométrie, ainsi que la moitié sud de la côte de l'Océan Indien (notamment entre Kisimaio et Mogadiscio, où il y a même une amélioration par rapport à mai).

Sur la façade occidentale de l'Ethiopie, la zone de pluies a considérablement progressé vers le nord, puisqu'elle atteint l'Erythrée. Par contre, tout l'Est de l'Ethiopie (à l'exception des plus hauts massifs) reste relativement sec, parfois même plus qu'en mai. C'est le cas le long de l'escarpement qui domine la Dépression Dankalie, et à l'intérieur de celle-ci.

* En Juillet, le champ pluviométrique n'évolue pas de façon majeure. Sur le plateau éthiopien, les précipitations s'intensifient et progressent au nord jusqu'à la ligne de crête dominant la Mer Rouge. Un fait important est qu'elles atteignent la dépression Dankalie (où elles restent faibles) et ses bordures (296 mm à Kombolcha contre 49 en juin). Assez curieusement, les précipitations augmentent aussi dans certains secteurs du sud de la zone: la régions des lacs (Rift Valley) en Ethiopie, les parages du Lac Turkana, et surtout les hautes-terres de l'Ouest du Kenya, pourtant situées au niveau de l'équateur.

Sur la côte de l'Océan Indien, il y a affaiblissement des pluies, mais celles-ci restent non négligeables (50 à 80 mm). Partout ailleurs, la sécheresse reste la règle.

* De juillet à août, il n'y a pratiquement aucun changement dans la distribution des régions arrosées. Les pluies augmentent légèrement presque partout sur les plateaux d'Ethiopie (200 à 350 mm), du Nord de la Somalie (50 à 100 mm) et du Kenya occidental (150 à 200 mm). Elles décroissent encore sur la façade littorale de l'Océan Indien. Par contre, la situation n'évolue pas dans cette immense région dépourvue de pluies formée de la Somalie, de l'Ogaden, des basses-terres du Kenya et des côtes du Golfe d'Aden et de la Mer Rouge.

* Septembre marque le début d'un mouvement inverse dans la dynamique du champ de précipitations: on observe une diminution notable des pluies dans le Nord de l'Éthiopie, ainsi que sur l'Ouest du Kenya. Par contre, le retour des pluies sur la Somalie n'est que très progressif: il ne concerne alors que les plateaux de l'extrême Nord Somalien. Partout ailleurs, la sécheresse persiste.

b) Caractéristiques et origine des précipitations.

Sur les plateaux éthiopiens, où ont lieu les grandes pluies d'été, les intensités moyennes calculées sont fortes, surtout en juillet- août, avec environ 12 mm par jour de pluie. En désaccord avec ceci, les précipitations maximales en 24 heures restent bien médiocres: elles ne dépassent pas 76 mm à Addis-Abeba ou 89 mm à Gore, station pourtant très arrosée située sur le flanc ouest du plateau. En fait, les pluies sont à cette saison assez peu violentes, mais extrêmement durables et presque quotidiennes: 28 jours avec précipitations à Addis-Abeba en juillet, et 27 en août (GRIFFITHS (1972) rapporte que cette station a enregistré ainsi des pluies quotidiennes du 2 juin au 14 septembre 1948). Les orages sont très fréquents, de longue durée, mais peu violents.

Les abondantes précipitations qui affectent les massifs éthiopiens semblent puiser leur humidité dans le flux de mousson de SW "d'origine congolaise". L'instabilité de celui-ci se conjugue ici à de puissants effets orographiques.

Les conditions sont plus ou moins les mêmes dans l'Ouest du Kenya, où l'on observe également de nombreux -voire systématiques- orages d'après-midi. Une particularité est la très grande fréquence de la grêle, avec 24 jours entre juin et septembre à Kericho, provoquant d'énormes dégâts dans les plantations de thé dont cette ville est la "capitale" au Kenya. Ces importantes précipitations de l'Ouest du Kenya sont généralement mises en relation avec des poussées "d'air congolais" humide en altitude.

Sur l'étroite façade sud de l'Océan Indien, également bien arrosée, la situation est totalement différente puisque, si les intensités moyennes sont très faibles (pluies fines, avec en moyenne 4 à 6 mm par jour de pluie), on peut enregistrer, très rarement il est vrai, de forts abats (134 mm en 24 h en juillet à Mogadiscio, 142 en juin à Lamu). Les orages sont cependant très rares, voire quasiment inconnus à Mombasa. En dehors des pluies faibles liées sans doute au

contact océan/ continent et au mécanisme des brises, les quelques pluies abondantes semblent en partie associées à des cellules pluvieuses allongées NNE/SSW, nées sur l'océan vraisemblablement à la faveur d'ondes d'est, elles-mêmes liées à des pulsions d'air froid en provenance des moyennes latitudes australes (TREWARTHA 1961, FREMMING 1970).

Sur toute la façade littorale somalienne, le flux de mousson de SW est presque parallèle à la côte; toutefois, au nord d'Obbia (5°N), il forme un léger angle avec le trait de côte, en se dirigeant de l'intérieur vers l'océan, et donne ainsi naissance à un phénomène d'upwelling littoral. La remontée d'eaux froides profondes (en juillet, moins de 20°C au sud du Ras Hafun) crée un fort contraste thermique à l'interface océan/ atmosphère. Une inversion thermique puissante est alors responsable de brumes persistantes, et bloque toute convection, ce qui explique la sécheresse totale entre juin et septembre à Obbia ou Eil.

Sur le littoral du Golfe d'Aden, la situation "sous le vent" de la mousson de SW, c'est-à-dire à l'abri des reliefs nord-somaliens, fait que toute la région côtière est également dépourvue de pluies. En Mer Rouge et dans la Dépression Dankalie, le même phénomène de subsidence dans le flux de mousson, cette fois à l'aval du Massif Ethiopien, a, en juin, la même conséquence, c'est-à-dire l'absence de pluies. En juillet/ août toutefois, la mousson éthiopienne qui déborde l'Erythrée par le nord, donne naissance à un flux de NW qui s'humidifie quelque peu sur la Mer Rouge. La "Zone de Convergence Afar" qui y est liée, peu active, explique quelques orages d'après-midi sur le continent.

Dans l'intérieur somalien et les basses-terres kényanes, la sécheresse accentuée pendant cette saison semble due à la forte divergence du flux de la mousson indienne sur cette façade orientale de l'Afrique. Ce flux est humide à la base mais présente une inversion vers 1500 à 2000 mètres: on l'observe très facilement à Nairobi, qui, située à cette altitude, connaît de fréquentes bruines et un plafond nuageux bas et persistant. L'inversion empêche ainsi le développement de la convection sur toute la région. Enfin, le long parcours continental de la mousson, selon une trajectoire parallèle à la côte en Somalie, explique qu'elle s'assèche peu à peu à mesure qu'elle progresse vers le Cap Guardafui.

4) La seconde saison de transition (octobre/ novembre).

a) Description des champs pluviométriques mensuels.

Cette période ressemble beaucoup à celle d'avril-mai et est marquée par un profond changement par rapport à la situation de la mousson d'été (juin-septembre).

* En octobre, les pluies reculent largement en Ethiopie. Si elles restent non négligeables sur l'ensemble du massif (en général plus de 30 mm), elles ne sont abondantes que dans les montagnes du Sud (bassins de l'Omo et du Baro) et du Sud-Est (Bale, Sidamo).

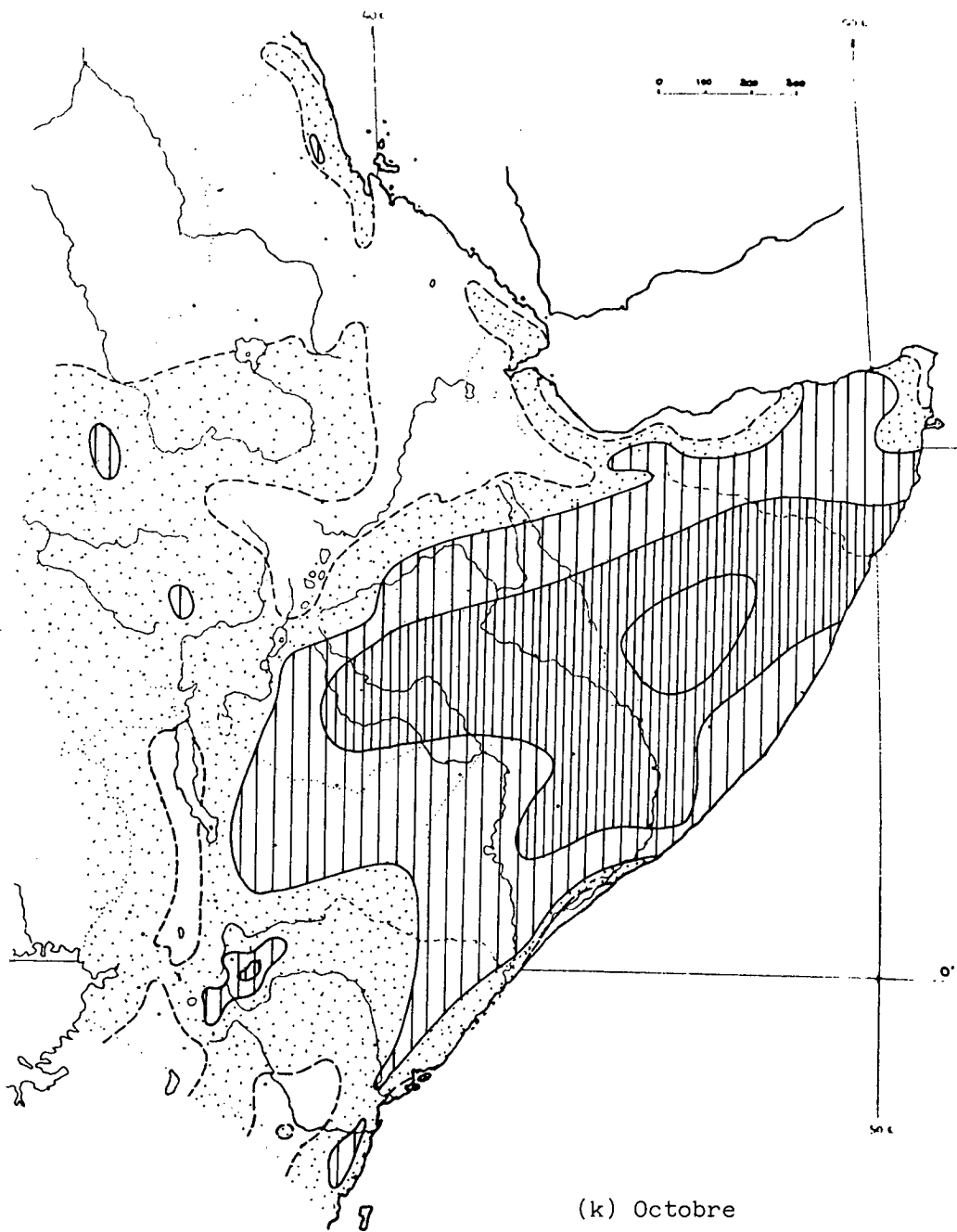
Un vaste secteur bien arrosé (entre 40 et 140 mm) se développe sur le Sud de la Somalie et l'Ogaden. Dans cette région, signalons que le littoral reste relativement sec, avec seulement une vingtaine de millimètres.

L'amélioration touche de manière encore limitée les basses-terres du Kenya. A cette époque, au Kenya, seules quelques régions précises connaissent de fortes précipitations, à savoir les secteurs de relief important orientées à l'est: Shimba Hills près de la côte, versants orientaux des massifs des Aberdare (Nyandarua) et du Mt Kenya, Elgeyo Escarpment (paroi nord-ouest de la Rift Valley).

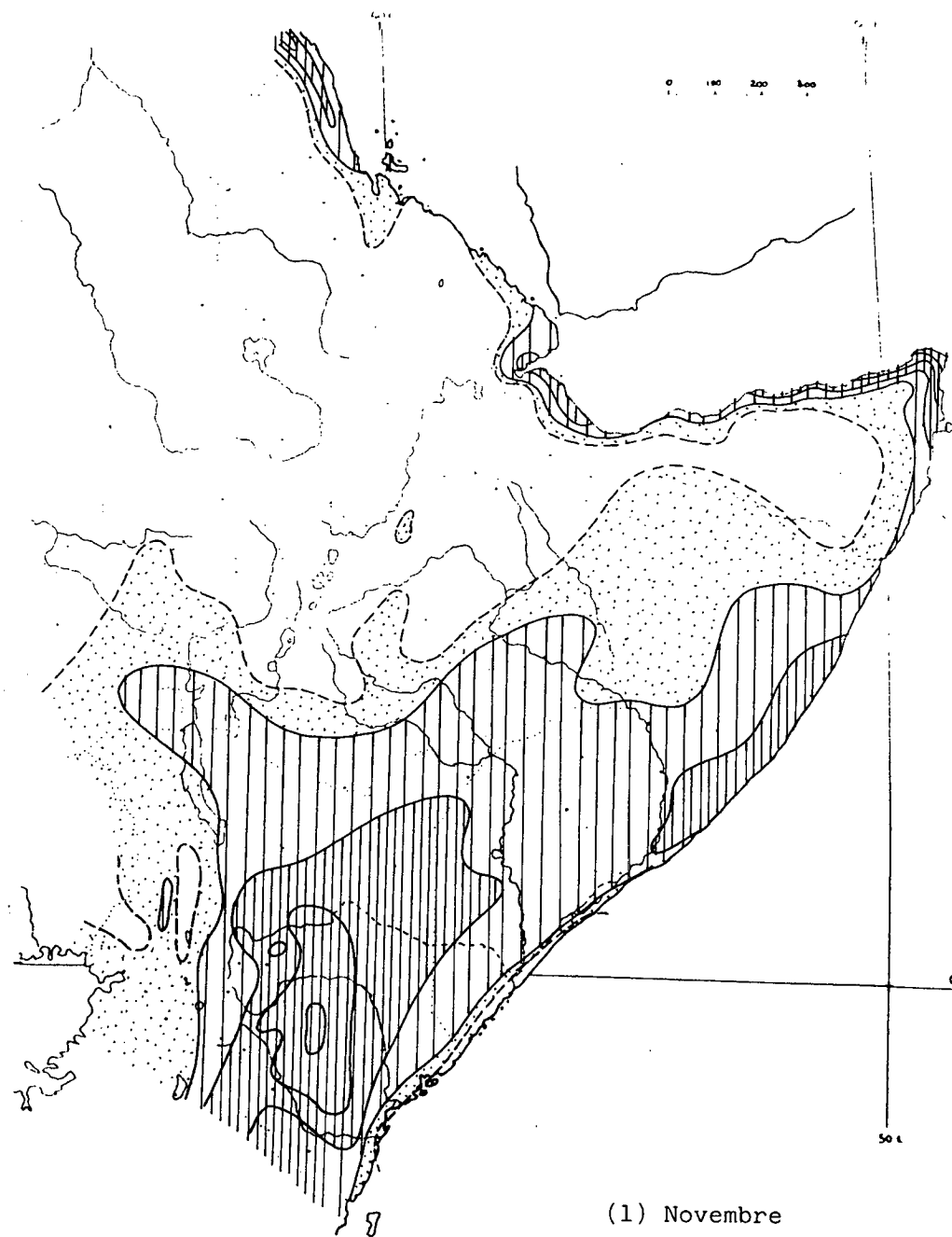
* En novembre, le fait majeur est le glissement vers le sud des zones de pluie:

- Sur la façade ouest, la saison sèche s'installe en Ethiopie, à l'exception toutefois de l'extrême-Sud de ce pays, qui garde des pluies abondantes (autour de 100 mm).
- Sur la façade est, les pluies deviennent marginales en Somalie du Nord, mais augmentent par contre fortement sur l'ensemble du Kenya. Elles ne se cantonnent plus aux reliefs, et affectent largement les plaines et bas-plateaux du Sud-Est du pays, bien des stations relevant plus de 100 mm mensuels. Le littoral proprement dit enregistre des précipitations bien moins abondantes que l'intérieur.

Un élément important, bien perceptible sur la carte des précipitations en valeur relative (fig. 61) est l'existence sur les littoraux du Golfe d'Aden et de Mer Rouge, de petits secteurs localement bien arrosés, mais limités aux côtes et aux reliefs immédiats, et apparemment sans lien avec la zone de pluie affectant alors le Kenya et la Somalie du Sud. La pluviométrie dépasse 30 mm en Erythrée du Nord, à Djibouti et au Cap Guardafui.



(k) Octobre



(l) Novembre

b) Caractéristiques et origine des précipitations.

On relève des intensités moyennes assez fortes pendant cette période, presque aussi élevées qu'en avril-mai pour les régions du Sud et de l'Est. Ceci se retrouve au niveau des plus forts abats en 24 heures, qui sont considérables au Kenya (plus de 100 mm dans toutes les stations des basses-terres) et en Somalie du Sud (134 mm à Lugh en octobre). Même la côte, qui pourtant est beaucoup moins arrosée que l'intérieur, peut enregistrer des intensités comparables. Les chiffres sont plus faibles sur les plateaux éthiopiens, mais ils restent du même ordre que ceux qu'on y observait pendant la grande saison des pluies d'été. A noter sur les côtes du Golfe d'Aden et de la Mer Rouge l'apparition en novembre de fortes intensités en 24 heures, associées aux petites pluies de cette saison: on a observé jusqu'à 135 mm à Djibouti et 149 mm à Arta.

Cette saison se caractérise par des changements particulièrement rapides dans la répartition des masses d'air. D'une manière générale, l'affaiblissement progressif des précipitations, d'abord au nord, ensuite au sud, est à mettre en relation avec le déplacement dans la même direction de la ZCIT.

Sur l'Ethiopie et la Somalie du Nord, les pluies cessent assez brutalement. A partir de novembre ne se produisent plus que de rares averses isolées de fin d'après-midi.

La "mousson de nord-est" pénètre dans le Golfe d'Aden dès octobre. Sur la Mer d'Oman naissent à cette saison quelques rares perturbations, voire des cyclones, qui peuvent atteindre en bout de course le Cap Guardafui. Elles procurent alors quelques pluies, surtout sur les versants orientés au nord-est, occasionnellement violentes et destructrices, comme dans le cas du cyclone de novembre 1972 (LEWIS 1975).

C'est peut-être la régénération de ces cellules cycloniques, lors de leur convergence dans le Sud de la Mer Rouge avec le courant de nord, qui expliquerait les rares mais violentes averses pouvant se produire dans la région de Djibouti voire en Mer Rouge. Selon certains chercheurs du "Kenya Meteorological Department" de Nairobi, certaines périodes de pluie affectant le Kenya à cette saison pourraient elles-mêmes être induites par des perturbations tropicales de la Mer d'Arabie.

Dans le reste de la Corne (Somalie et Kenya), les "petites pluies" d'octobre/novembre coïncident avec le passage de la ZCIT migrant vers l'hémisphère sud. L'instabilité qui existe au sein de cette dernière donne des averses convectives intenses mais discontinues dans l'espace et dans le temps. Plus encore que pendant les pluies d'avril-mai, la concentration des précipitations sur un petit nombre de jours est caractéristique de cette période qui ne mérite qu'imparfaitement le nom de "saison des pluies". Le faible flux de SE qui prédomine alors peut être considéré comme le principal pourvoyeur de vapeur d'eau. La faiblesse relative des précipitations littorales serait peut-être expliquée par l'inertie thermique de l'Océan Indien qui reste froid après l'hiver austral.

Conclusion

Nous avons présenté les principaux mécanismes associés aux précipitations de chacune des saisons (ou à l'absence de précipitations), tels qu'ils ont été exposés dans les divers travaux et publications consacrées à la région. Cependant, bien des aspects de la pluviométrie dans le Nord-Est de l'Afrique restent mal expliqués, et de nombreuses hypothèses non prouvées: ainsi en va-t-il par exemple de l'origine des pluies estivales sur le plateau éthiopien (imputées le plus souvent à la mousson "atlantique") et dans l'Ouest du Kenya, ou des pluies d'hiver le long de la Mer Rouge (associées généralement à des interactions avec la circulation tempérée d'altitude).

La diversité des situations observées au sein de la Corne, à l'intérieur même d'une saison donnée, n'en suggère pas moins l'existence d'une grande variété de régimes pluviométriques, renforcée par les contraintes exercées par le relief.

DEUXIEME PARTIE

DIFFERENCIATION REGIONALE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES

Cette partie est consacrée à l'examen des régimes pluviométriques de la Corne Orientale de l'Afrique. Ce travail est important, dans la mesure où aucune étude des variations temporelles de la pluviométrie, pour une région ou une station donnée, ne peut être entreprise sans une bonne connaissance de la répartition saisonnière moyenne. Bien plus, étudier de façon suffisamment précise les régimes de précipitations et leur disposition spatiale -notamment leurs limites- peut permettre de mieux comprendre les mécanismes atmosphériques qui y sont liés (ou tout au moins de suggérer des "voies d'exploration").

II A / EXPOSE DES METHODES ET DES RESULTATS GENERAUX.

1) Les études antérieures.

Rares sont les travaux qui ont pu être consacrés à une classification systématique des régimes de cette partie de l'Afrique. Dans la plupart des cas, les tentatives ont été soit subjectives, soit spatialement partielles ou très peu précises. En fait, seul le Kenya a fait l'objet de quelques études statistiques objectives.

La tentative de GRIFFITHS (1972) est basée sur une superposition des isohyètes 50 mm de chacun des 12 mois de l'année. Le résultat, assez confus, ne fait que montrer l'extrême complexité des régimes pluviométriques au Kenya (notamment en altitude), et ne permet pas de faire de classification.

POTTS (1971) utilise l'analyse harmonique pour déterminer les grands types de régimes rencontrés en Afrique de l'Est. Si l'on ne considère que le Kenya, 4 régions principales sont délimitées:

- Une grande moitié Est du Kenya (sauf la Côte au Nord de Mombasa), avec un régime bimodal marqué (pics aux intersaisons);
- Une zone côtière (au Nord de Mombasa), avec un régime quasiment unimodal (le second maximum, en octobre, est à peine sensible);

- Une région Nord-Ouest au régime quasiment unimodal centré sur l'été boréal;
- Une zone des hautes-terres de l'Ouest avec un régime trimodal (pics d'avril, août et novembre).

En ce qui concerne le reste du domaine étudié (Ethiopie, Somalie), aucune analyse statistique sur les régimes pluviométriques moyens n'a apparemment été conduite.

2) Présentation des méthodes de travail.

Une régionalisation basée sur les saisons telles qu'elles ont été définies dans le chapitre précédent n'est qu'à moitié satisfaisante, car d'une part ces saisons ont été découpées un peu intuitivement, et d'autre part ce pas de temps reste assez grossier.

On utilisera ici la méthode de l'Analyse en Composantes Principales sur les précipitations moyennes mensuelles. Notons d'abord que d'un point de vue théorique, le principe de réaliser une A.C.P. sur de telles données (nombre de variables -stations- beaucoup plus important que le nombre d'observations -12 mois-) est discutable. Les excellents résultats obtenus montrent cependant tout l'intérêt de la méthode.

Une autre analyse multivariée, l'Analyse Factorielle des Correspondances, pratiquée sur les mêmes données, a abouti à des résultats très voisins de l'A.C.P. (non montrés ici). Enfin, l'utilisation d'une méthode de classification automatique a abouti quasiment à la même partition de l'espace étudié. Son inconvénient est qu'elle place des limites régionales "rigides" là où l'A.C.P. permet de distinguer des zones de transition.

Une première A.C.P., dont les résultats sont détaillés plus bas, a porté sur 77 stations régulièrement réparties dans la Corne, et choisies autant que possible pour la longue période de calcul de leurs moyennes pluviométriques respectives. Pour éliminer le poids de la pluviométrie brute, les données utilisées sont exprimées en pourcentage du total annuel. Les grands types de régimes ainsi définis ont été affinés par des A.C.P. portant tour à tour sur chaque région ainsi délimitée.

3) Résultats d'ensemble.

L'analyse des régimes des 77 stations montre deux modes dominants qui, ensemble, n'expriment pas moins de 70% de la variance. A eux seuls, ces deux modes donnent donc une excellente image des grands types de rythmes rencontrés.

La première composante décrit elle-même 45% de la variance. Opposant les mois du semestre d'hiver boréal (octobre/ avril) à ceux d'été boréal (juin/ septembre), elle peut être présentée comme une composante unimodale (fig.8a).

Spatialement (carte 10a), elle met en évidence les régions pour lesquelles l'été de l'hémisphère Nord est arrosé (composantes négatives), c'est-à-dire les plateaux d'Ethiopie, de Somalie du Nord et de l'Ouest du Kenya, ainsi que la moitié sud du littoral de l'Océan Indien. Les autres régions (composante positive) sont sèches pendant l'été.

A titre indicatif (fig.9), nous présentons une carte des corrélations significatives (au seuil de 5%) mesurées entre les régimes moyens des 77 stations prises 2 à 2. On constate bien l'individualisation du Massif Ethiozien, et moindrement de la côte méridionale de l'Océan Indien ou de l'Ouest Kényan, seules régions à présenter un pic pluviométrique d'été, alors qu'ailleurs cette saison est au contraire très sèche.

La seconde composante (24,7% de la variance, fig. 8b) présente un aspect nettement bimodal, avec deux pics en décembre/février, d'une part, et juillet/août d'autre part, et deux creux aux intersaisons, c'est-à-dire en avril-mai et en octobre.

L'ensemble de la Somalie, ainsi que le Sud-Est de l'Ethiopie et le Nord-Est du Kenya sont très représentatifs de ce mode (carte 10b). Ces régions sont en opposition avec l'extrême Sud-Ouest du Kenya, et surtout avec les côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden, augmentées du "triangle Dankali" (Awash- Berbera-Massawa).

L'intérêt de cette A.C.P. ne réside pas tant dans l'examen séparé des différentes composantes, que dans leur mise en rapport, pour déboucher sur une classification. On a utilisé pour cela le plan principal (projection sur les deux premiers axes factoriels des coordonnées mensuelles et stationnelles) donné en figure 7.

Fig. 7: A.C.P. SUR LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES: PLAN PRINCIPAL

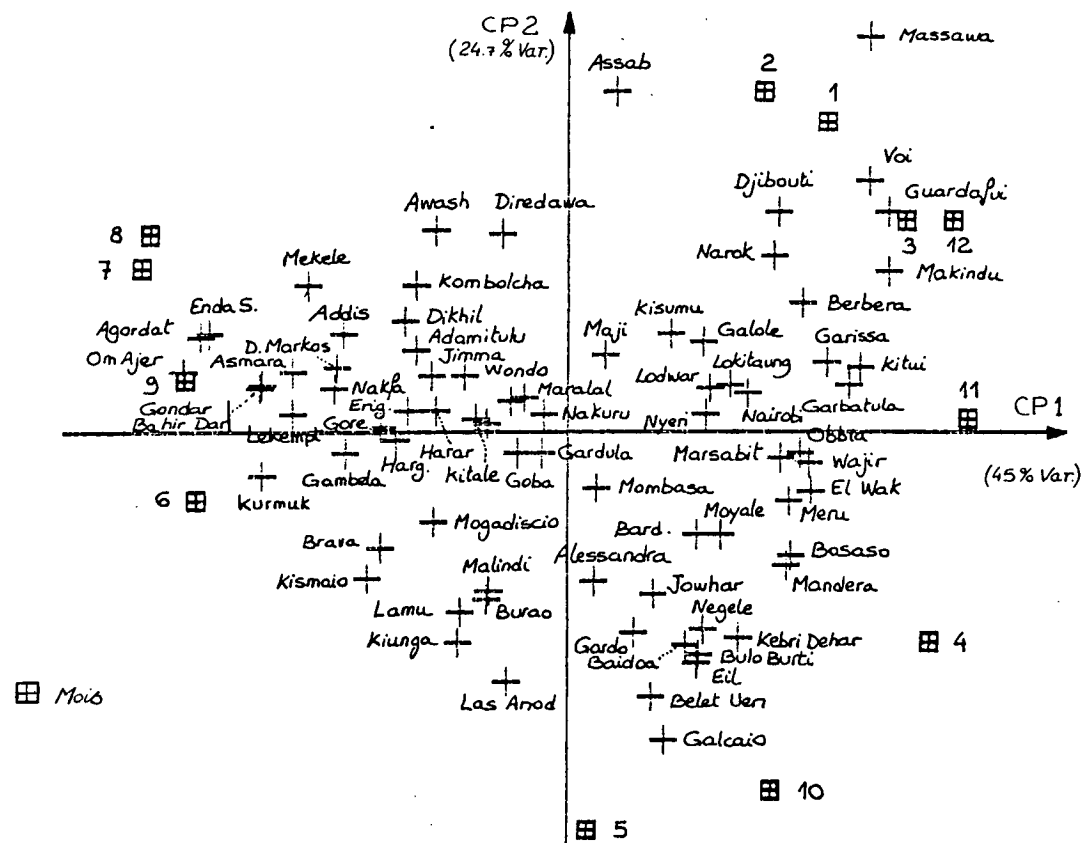


Fig. 9 : CORRELATIONS SIGNIFICATIVES ENTRE LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES MOYENS (Seuil P= 5%)

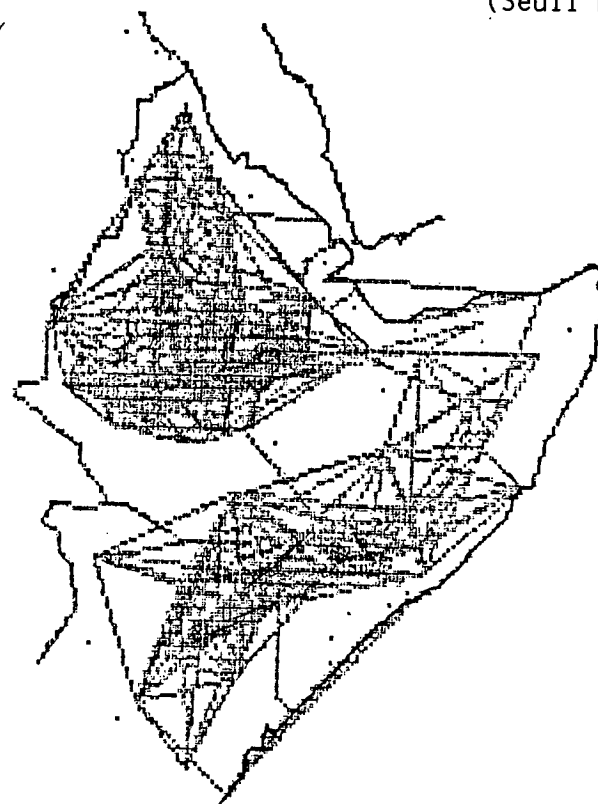


Fig. 8: CHRONIQUES MENSUELLES DE L'A.C.P. SUR LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES

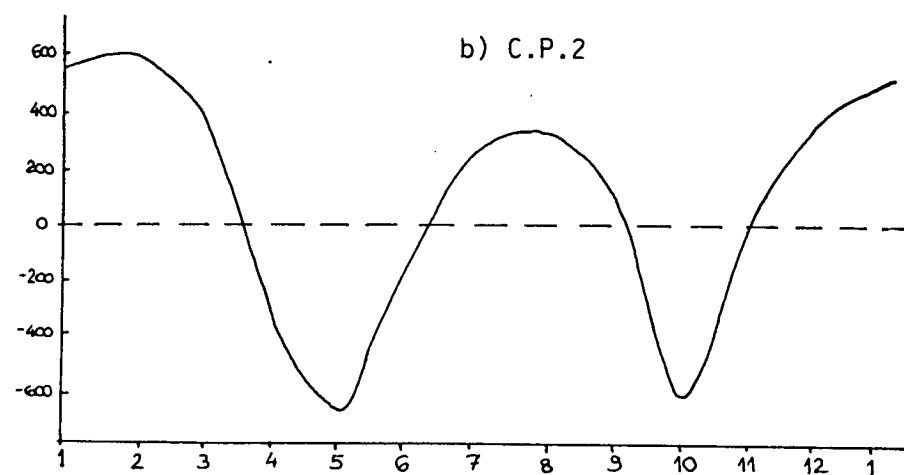
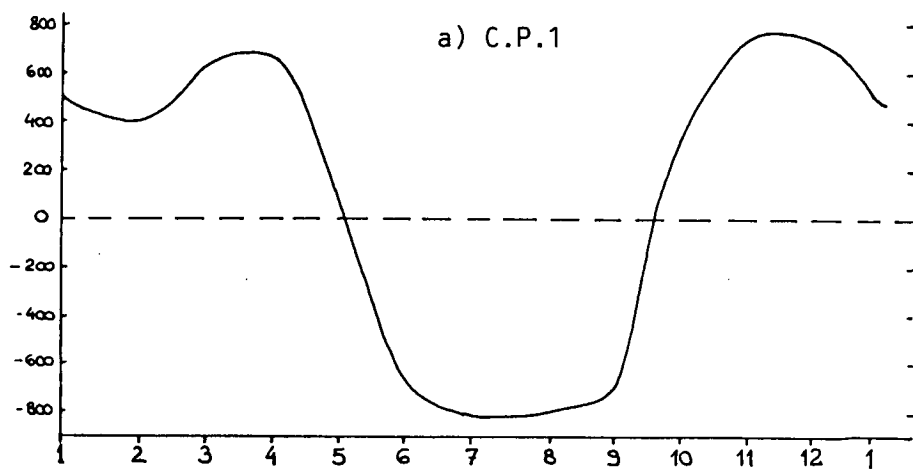
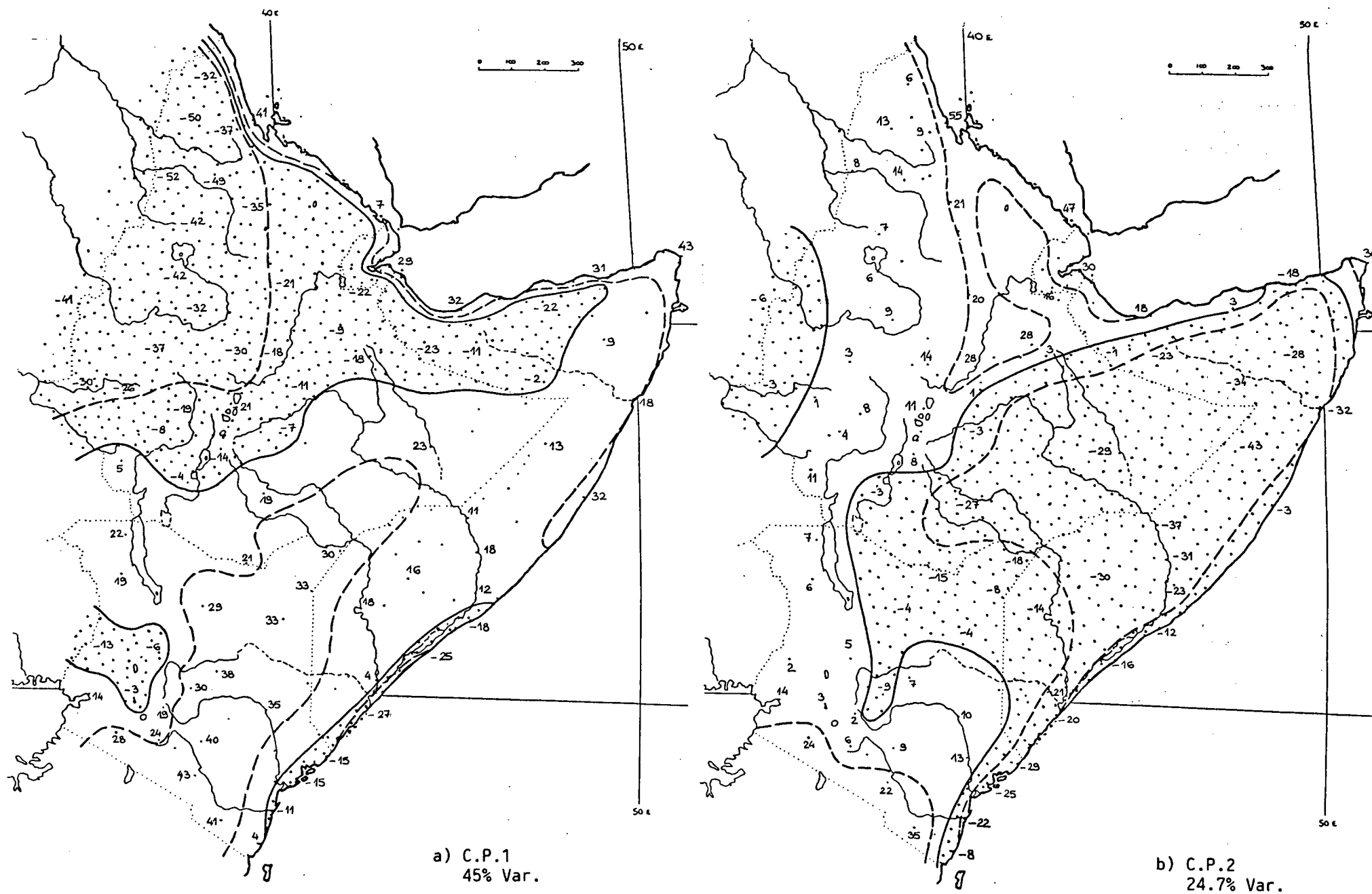


Fig. 10 : A.C.P. DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES / Champs des 2 premières composantes principales



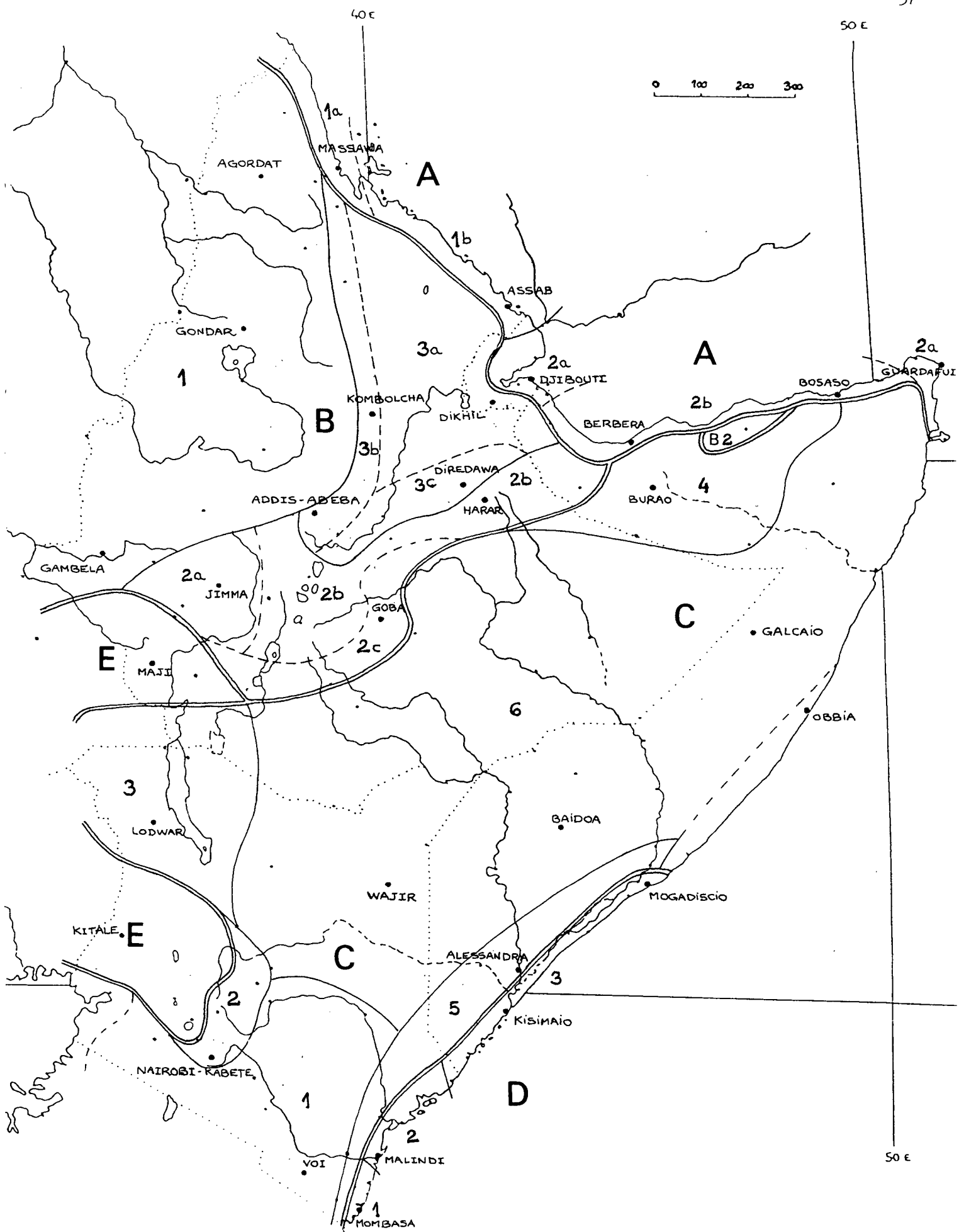


Figure 11: TYPES REGIONAUX DE REGIMES PLUVIOMETRIQUES

II B / LES GRANDS TYPES DE REGIMES.

Cinq types ont été individualisés (carte 11), la différenciation majeure restant basée sur l'opposition été/hiver boréaux, bien exprimée par la première composante principale.

1) Les régimes à maximum d'hiver de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden (type A).

a) Leurs caractéristiques.

Ils ne concernent qu'une étroite bande littorale de moins de 50 km de large, qu'il y ait ou non des reliefs importants dans l'intérieur (voir plus loin).

La caractéristique commune à toute cette bande littorale est donc la prédominance des pluies de semestre hivernal, dans un contexte néanmoins d'aridité, puisque la plupart des stations enregistrent moins de 200 mm annuels.

Trois mois sont prépondérants: novembre, décembre et janvier. L'été (juin-septembre) est particulièrement sec, encore qu'il faille localement relativiser.

Ce rythme pluviométrique représente une anomalie étonnante au sein de la carte de répartition mondiale des climats. Rappelons-le en effet, bien que ces côtes se situent au-dessous du 18e degré de latitude, et qu'elles atteignent même le 10e parallèle, on a affaire à un rythme pluviométrique assez proche de ceux du domaine méditerranéen (subtropical). Le problème est ici autant l'existence de pluies d'hiver, que l'absence de pluies d'été à une latitude égale ou même inférieure à celle des régions arrosées par les moussons telles que l'Afrique de l'Ouest ou l'Inde.

b) Les types régionaux.

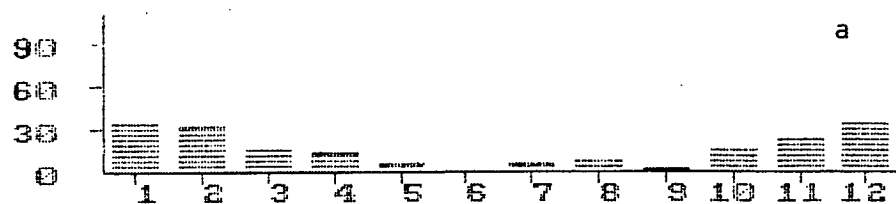
Compte tenu de l'étirement sur 2000 km de cette façade littorale, il n'est pas étonnant d'y observer une certaine diversité. Pour la mettre en évidence, on utilisera les figures 17 (A.C.P. sur 18 stations de notre région) et 18 (profil pluviométrique NW/SE le long du littoral, de la frontière soudanaise au Cap Guardafui).

L'A.C.P. met en relief, outre un mode dominant (composante 1) commun à toutes les stations, une partition majeure, en gros entre le nord et le sud.

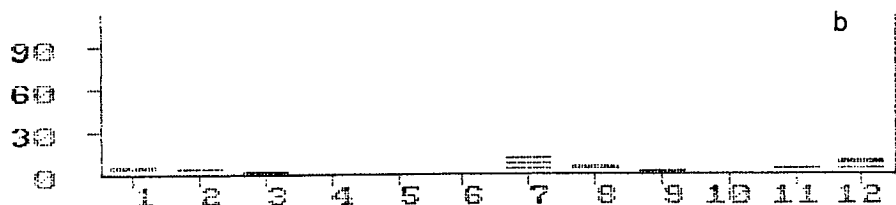
* Au nord du détroit de Bab-El-Mandeb (côtes érythréennes), la saison d'hiver est particulièrement bien marquée avec un maximum net de janvier ou

Fig. 12: REGIMES PLUVIOMETRIQUES DES COTES DE LA MER ROUGE ET DU G. D'ADEN
(Type A)

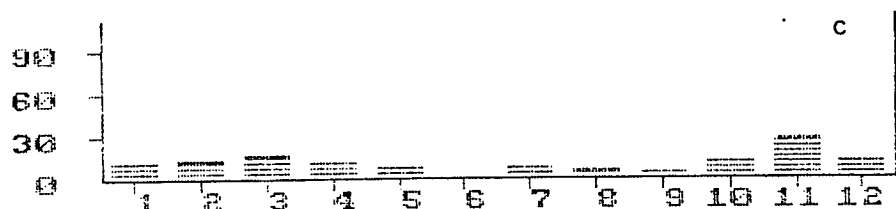
MASSAWA A1a



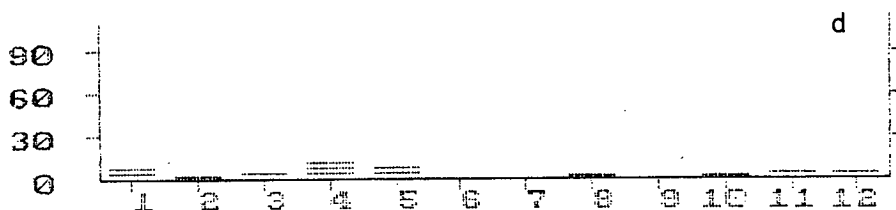
ASSAB A1b



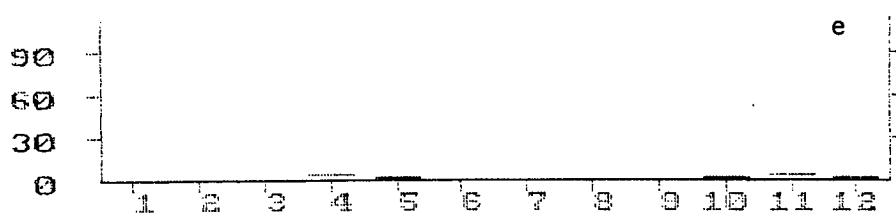
DJIBOUTI A2a



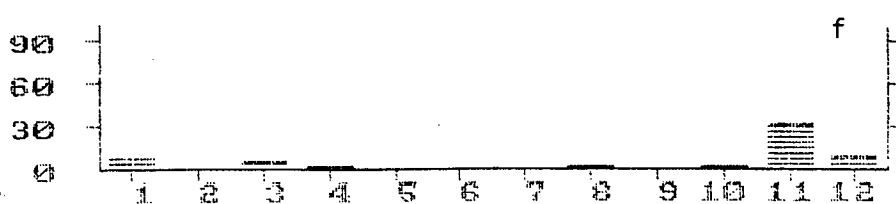
BERBERA A2b



BOSASO A2b

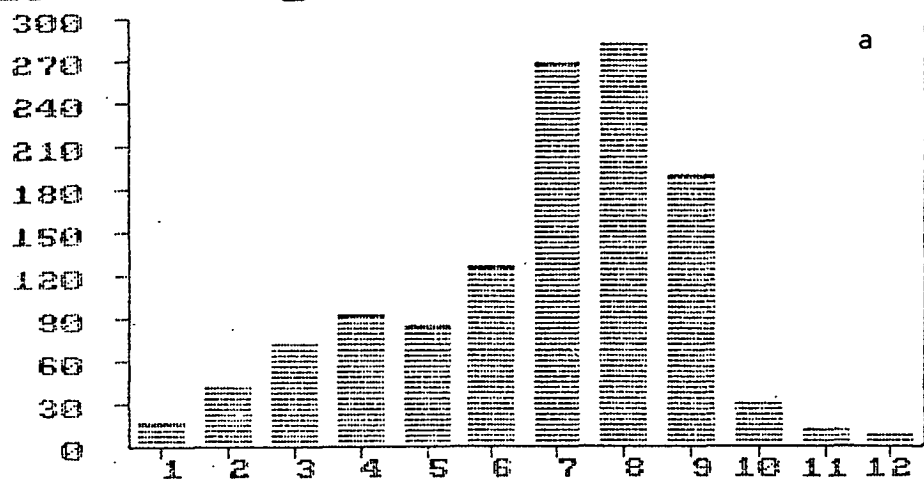


GUARDAFUI A2a



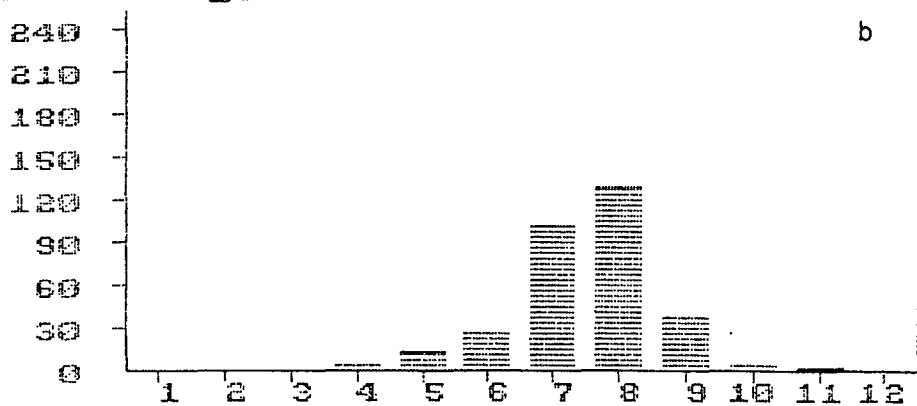
ADDIS-ABEBA

B



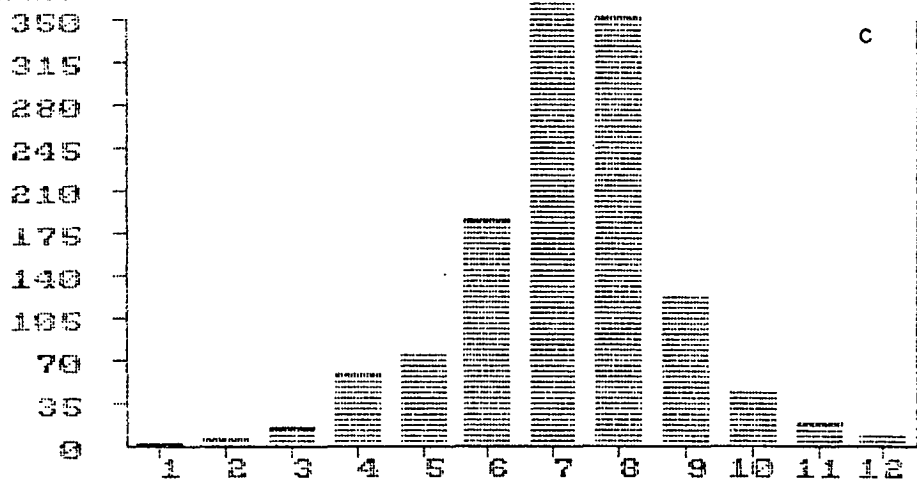
AGORDAT

B1



GONDAR

B1



GAMBELA

B1

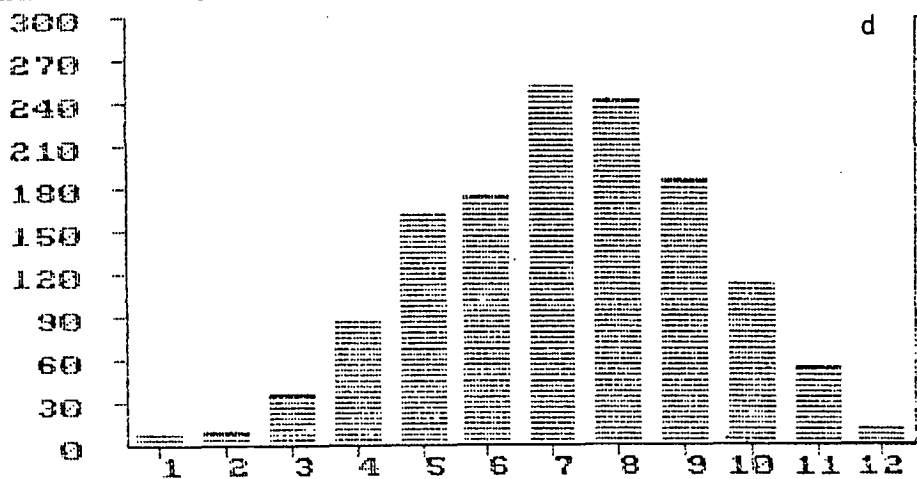
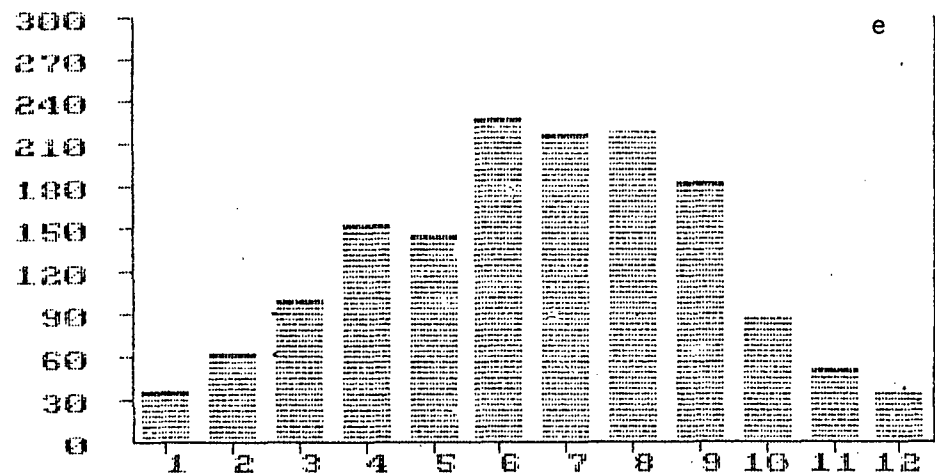
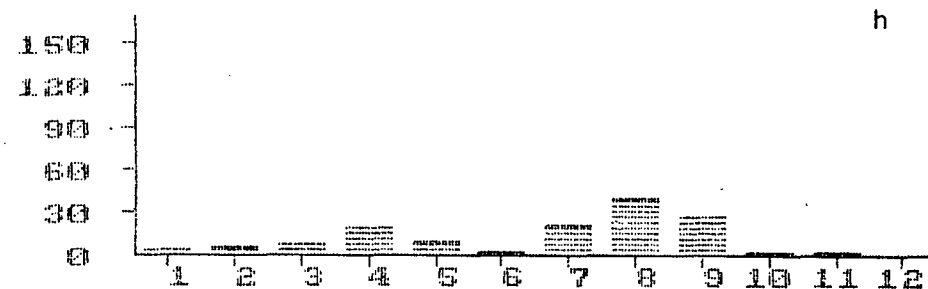


Fig. 13 (Suite): REGIMES PLUVIOMETRIQUES A MAXIMUM ESTIVAL DE TYPE ETHIOPIEN (Type B)

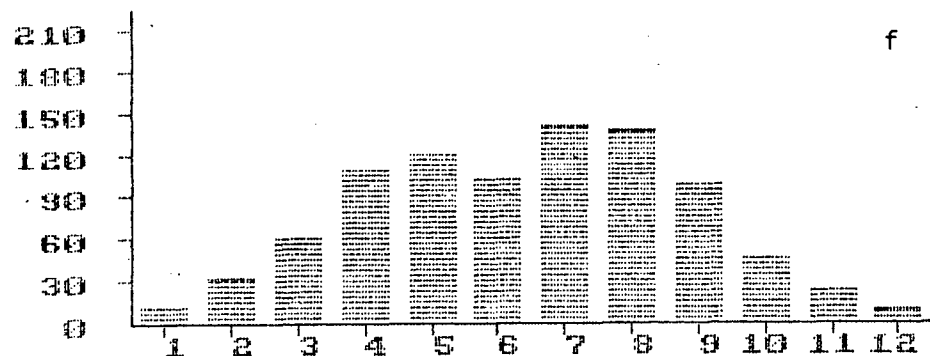
JIMMA B2a



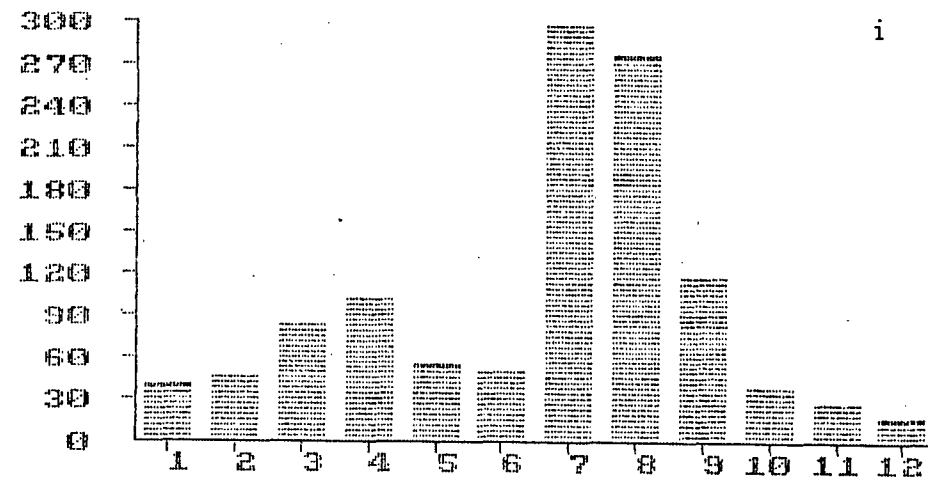
DIRHIL B3a



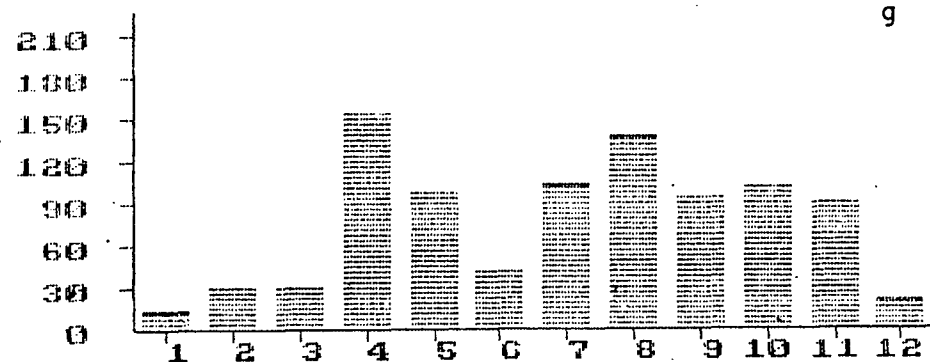
HARAR B2b



KOMBOLCHA B3b



GOBA B2c



DIREDAWA B3c

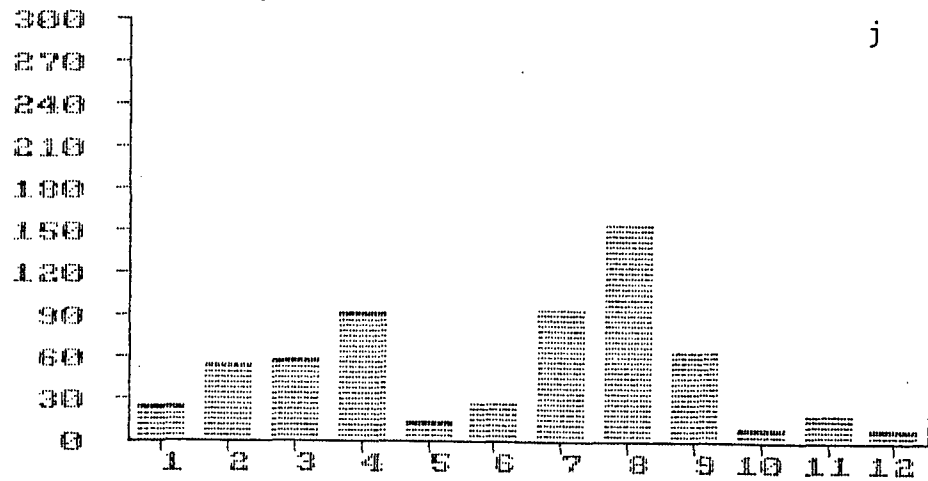


Fig. 14: REGIMES PLUVIOMETRIQUES BIMODAUX DE TYPE SOMALI (Type C)

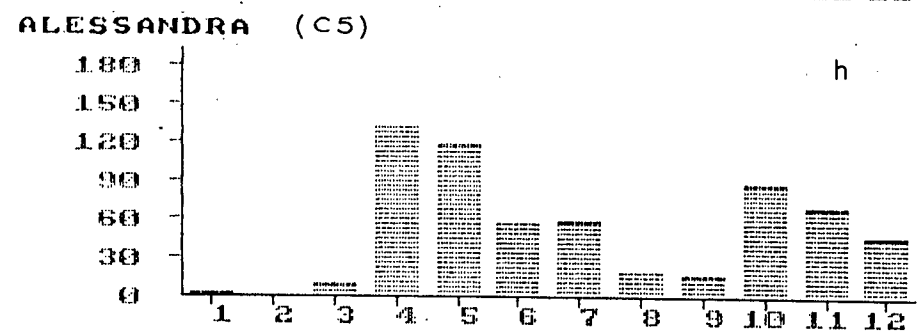
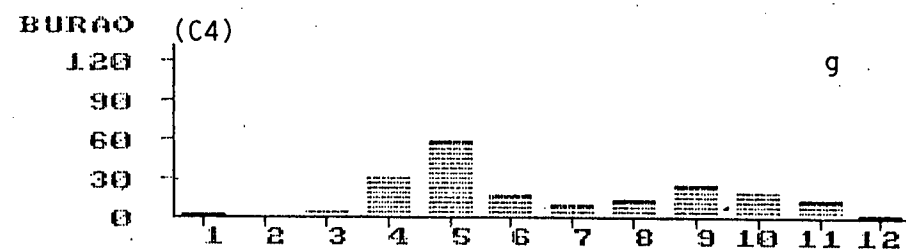
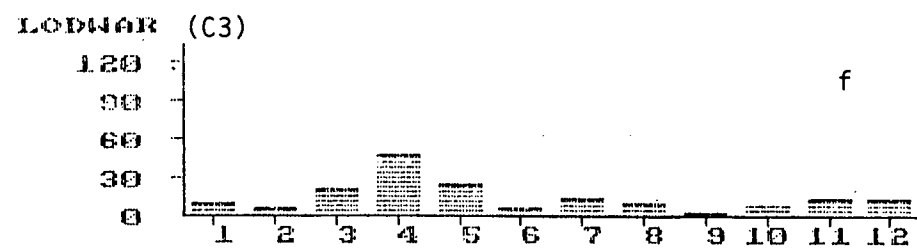
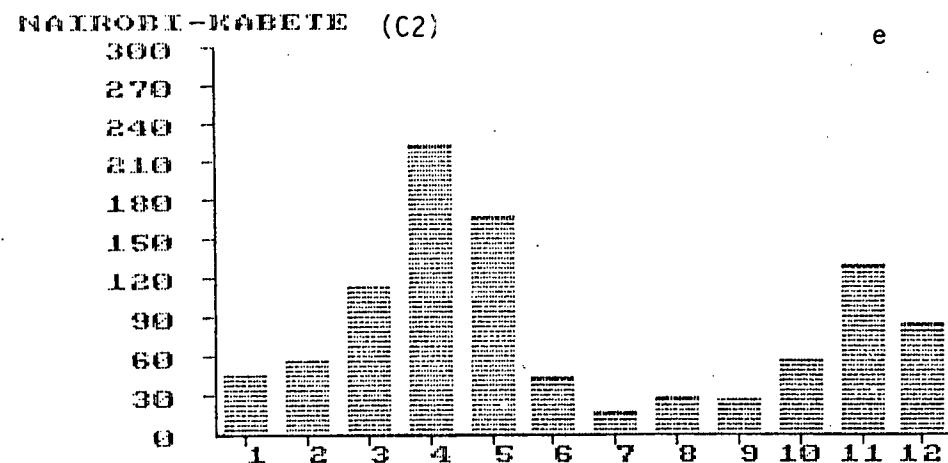
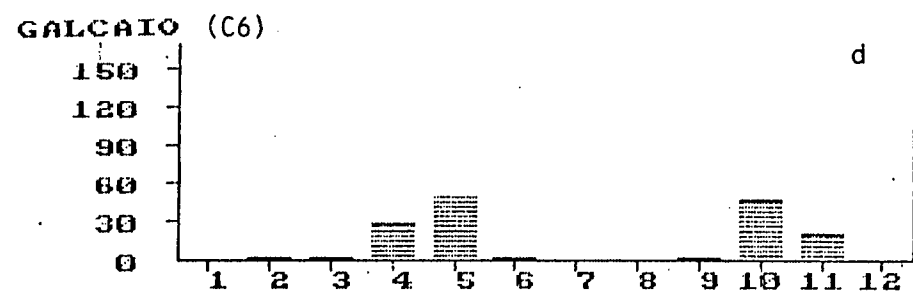
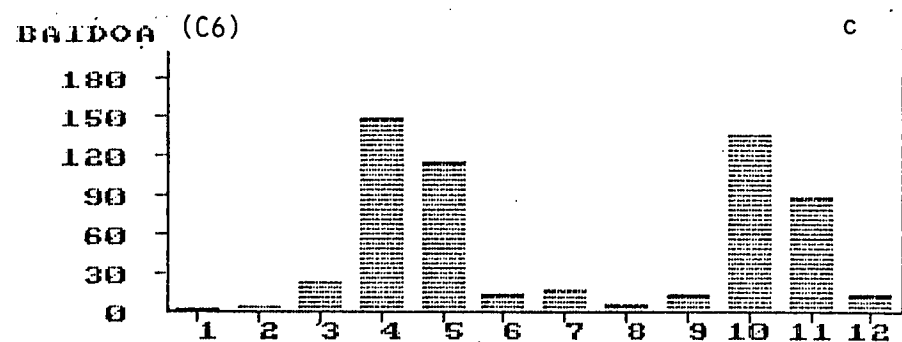
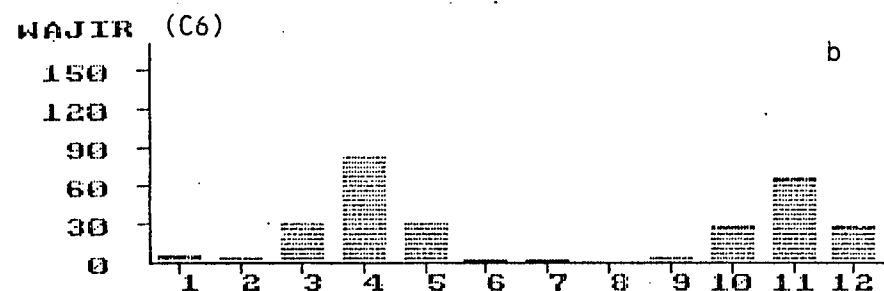
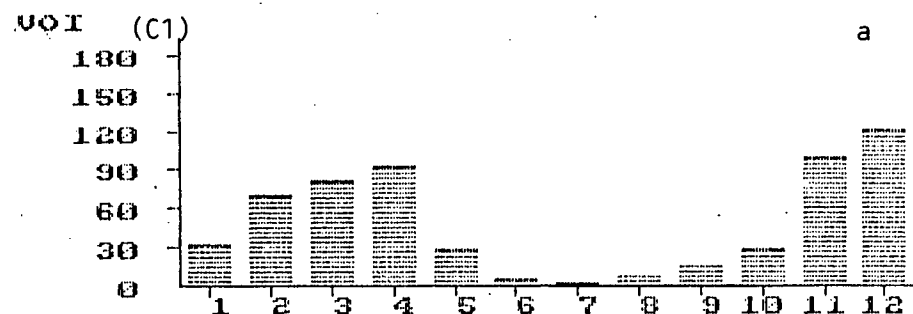


Fig. 15: REGIMES PLUVIOMETRIQUES DU LITTORAL DE L'OCEAN INDIEN

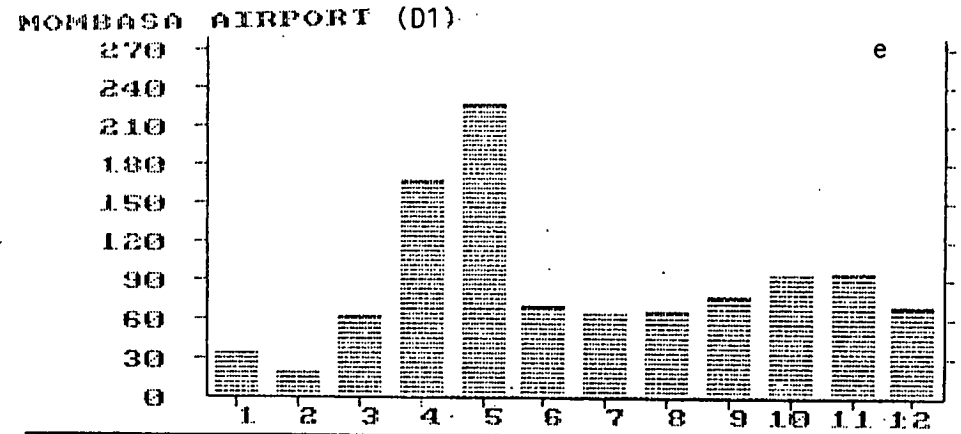
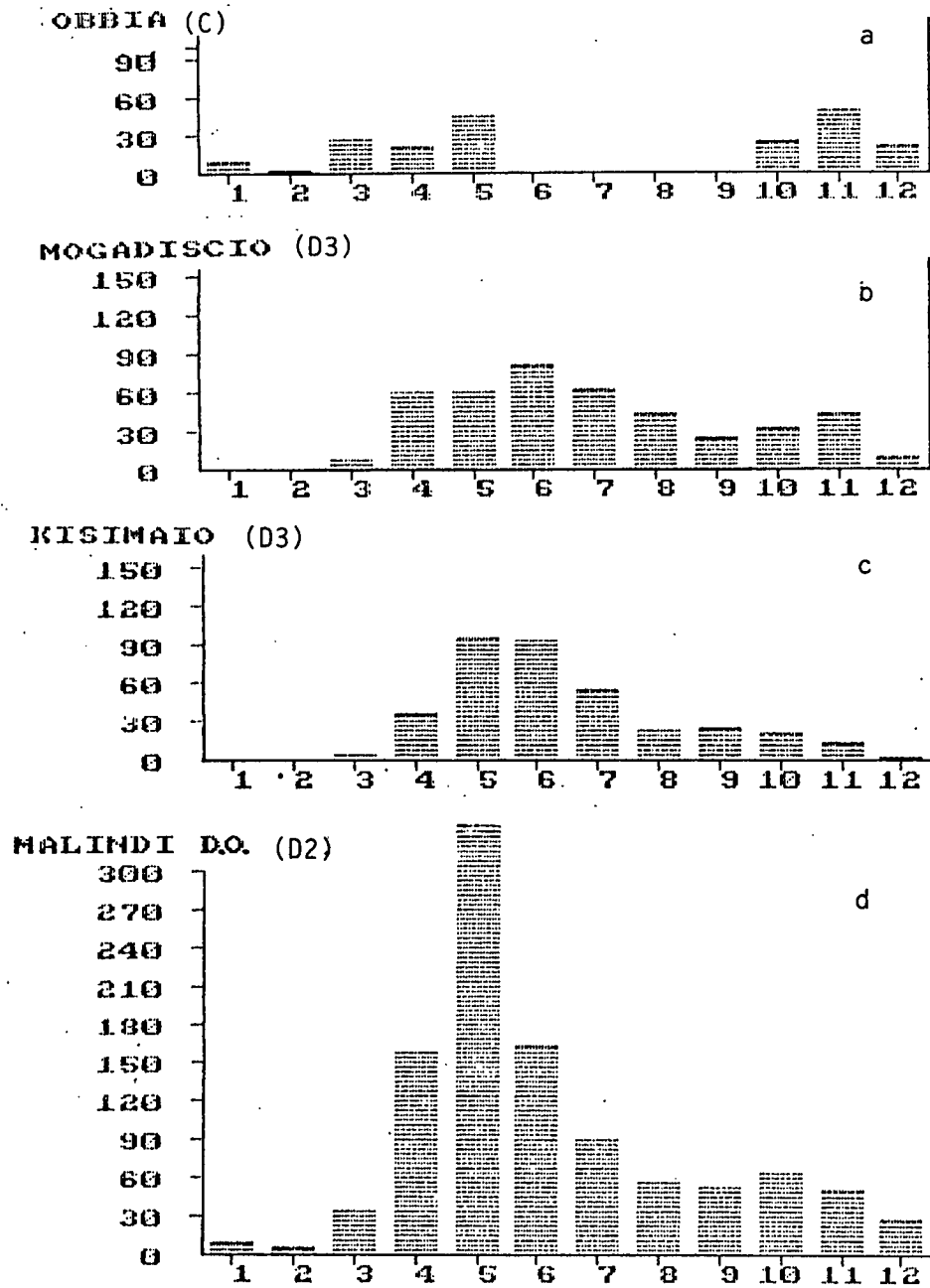
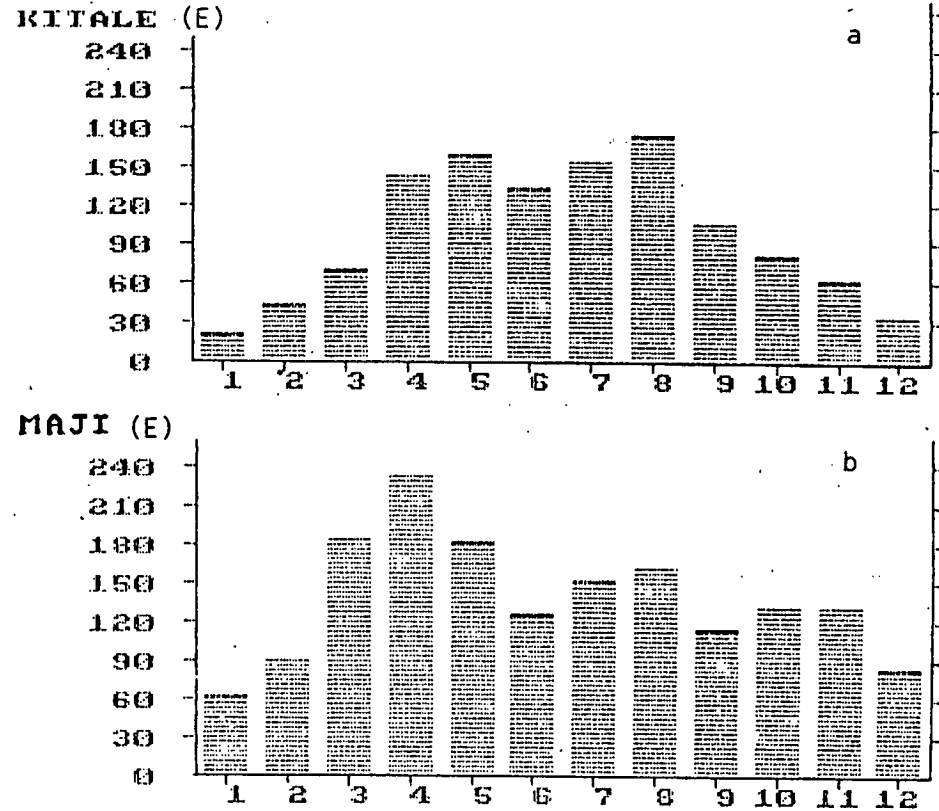


Fig. 16: REGIMES PLUVIOMETRIQUES DE L'OUEST DU KENYA ET DU SUD-OUEST DE L'ETHIOPIE



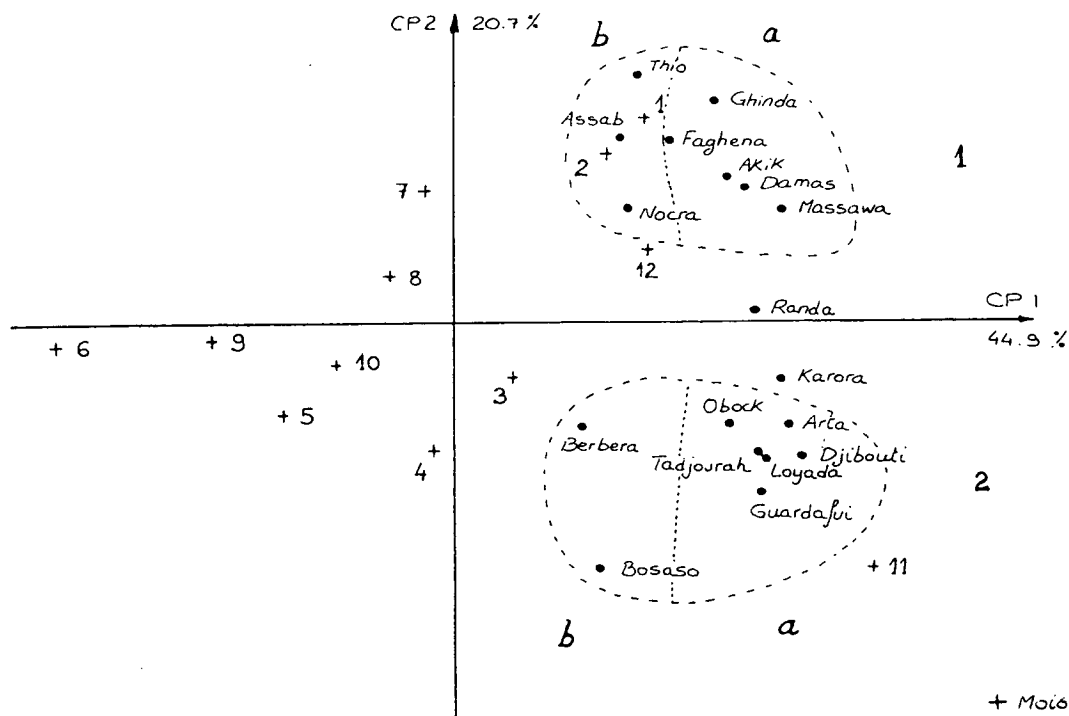


Fig. 17: A.C.P. DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DES COTES DE LA MER ROUGE ET DU GOLFE D'ADEN / PLAN PRINCIPAL.

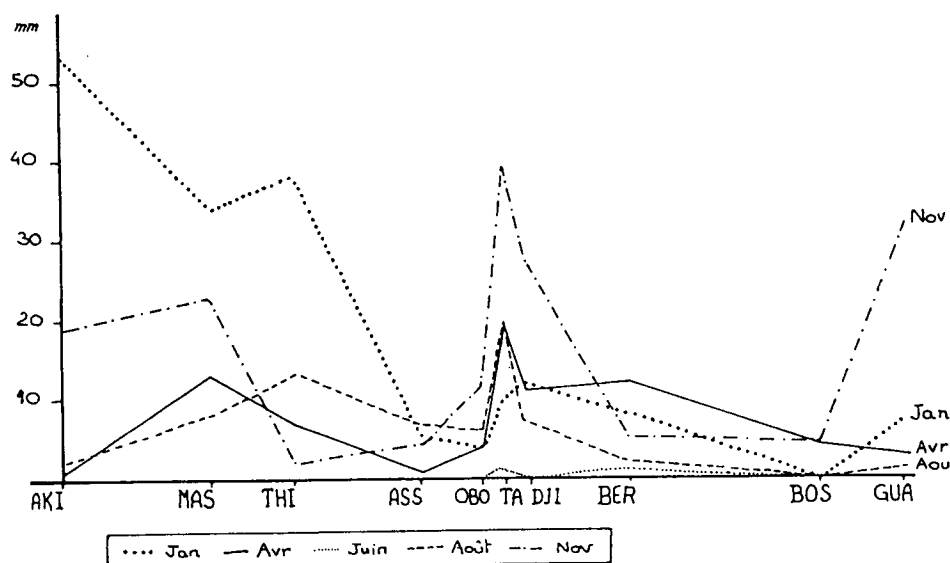


Fig. 18: PROFILS PLUVIOMETRIQUES MOYENS LE LONG DES COTES DE LA MER ROUGE ET DU GOLFE D'ADEN POUR QUELQUES MOIS CHOISIS.

parfois décembre. Les quantités reçues varient largement, en fonction de la présence ou non de reliefs dans l'arrière-pays immédiat. Le relief semble jouer également pour expliquer les deux sous-types observés:

- Au sud (Thio, Assab) et dans l'archipel Dahlak, quelques pluies se produisent également au coeur de l'été (juillet/ août - cf. fig.12b, type A1b);
- Au contraire, le régime de Massawa (Fig.12a, Type A1a) permet à peine de distinguer ces pluies d'été, tandis que le maximum hivernal est plus puissant: le vigoureux escarpement érythréen joue rôle d'abri en été, mais d'obstacle en hiver, compte tenu des directions des flux dominants.

* Le long du Golfe d'Aden, les pics pluviométriques sont nombreux, variés, de faible intensité, mais le fait majeur est la prééminence du mois de novembre. A Djibouti (fig.12c), 20% des pluies annuelles sont reçues pendant ce mois, et la proportion atteint 50% au Cap Guardafui (Fig.12f). Là encore, deux sous-types doivent être distingués:

- Le premier (A2a) inclut les stations orientées vers le nord-est (République de Djibouti et, à l'autre extrémité, Cap Guardafui), où la domination de novembre/décembre n'est guère contestée par les faibles pluies du début de printemps (février/ avril), voire d'été à Djibouti.
- Dans le Sud du golfe, c'est-à-dire le long de la dorsale nord-somalienne, par contre, le pic de printemps (avril) contrebalance largement celui du début d'hiver. Ce type régional (A2b) serait à rapprocher des régimes bimodaux de l'aire somalie (voir plus loin). Rappelons toutefois que ce secteur est de loin le moins arrosé de la Corne (moins de 50 mm annuels), ce qui relativise la notion de saison des pluies (Fig. 12d et 12e)!

Au total, au-delà du problème climatique posé par le maximum hivernal de cette région, on pourra s'interroger sur la différenciation Mer Rouge/ Golfe d'Aden, liée principalement à l'existence de deux pics assez distincts de janvier et novembre, dénotant des mécanismes pluviogènes sans doute différents.

2) Les régimes à maximum d'été du Plateau Ethiope (type B).

Lorsque l'on s'écarte des côtes de la Mer Rouge, les rythmes pluviométriques changent extrêmement vite, pour s'inverser complètement, l'hiver devenant la saison sèche et l'été la saison la plus arrosée.

C'est bien cette importance des précipitations estivales qui caractérise les plateaux d'Éthiopie: plus de 40% des pluies annuelles sont enregistrées de juin à septembre, mais dans un grand tiers nord-ouest de cette région, la proportion est même supérieure à 75%. Cas extrême, Agordat (Érythrée) reçoit 93% de ses précipitations entre juin et septembre: la parenté avec les régimes sahéliens ou soudanais est évidente.

D'une manière plus précise, notons que ces régimes à maximum d'été ne concernent pas que le plateau éthiopien stricto sensu. Outre le piémont de la frontière soudanaise, l'axe de hauts reliefs de la Somalie du Nord est aussi partiellement concerné, de même que, plus curieusement, la Dépression Afar. En revanche, les marges Sud de l'Éthiopie sont un peu à part, car les pluies d'été sont nettement contrebalancées par d'importantes pluies d'intersaisons.

Assimiler les régimes éthiopiens à des rythmes unimodaux généralisés, c'est cependant simplifier beaucoup la réalité. Le paysan éthiopien nous dira que, pour lui, il n'y a pas une mais deux saisons des pluies: celle de "Belgh" (petites pluies de printemps, essentiellement en mars, avril et mai) et celle de "Kirmet" (ou Krempt, longues pluies de mi-juin à fin septembre). Cette distinction est en fait celle des agriculteurs Amhara (Centre de l'Éthiopie), mais on la retrouve, sous une terminologie différente, chez les Oromo des plateaux sud-est. Les régimes de la partie orientale du Massif Éthiopien font souvent apparaître en effet un rythme bimodal dissymétrique, ce qui montre la nécessité d'opérer certaines distinctions régionales.

a) La façade occidentale des plateaux éthiopiens (type B1).

Sur cette façade, les régimes sont nettement unimodaux. L'étirement en latitude, de 7 à 18°N, ne provoque qu'un raccourcissement de la saison des pluies lorsque l'on va vers le nord. Ainsi, à Gambela (fig. 13d), dans le Sud-Ouest Éthiopien, l'étalement des pluies est manifeste (tous les mois d'avril à novembre reçoivent plus de 50 mm), même si le maximum de juillet-août reste net. Au Nord par contre, la saison des pluies est des plus courtes: seuls juillet et août ont plus de 50 mm à Agordat par exemple, en Érythrée (fig. 13b).

On retrouve dans ce secteur le dégradé zonal observé dans toute la bande sahélo-soudanienne, et ce en dépit de la perturbation introduite par le relief.

b) Les plateaux de l'Est et du Sud (type B2).

Dans cette vaste région allongée du Keffa (Sud-Ouest) aux Massifs Nord-Somaliens (Nord-Est), les rythmes sont par contre beaucoup plus complexes. D'une manière générale, ce qui caractérise ces régimes est la moindre vigueur du pic de juillet-août, ainsi que l'existence de pluies de printemps, bien que ces dernières ne se démarquent pas forcément avec netteté des pluies d'été.

Les 3 stations de Jimma, Harar et Goba illustrent 3 variétés régionales, mais le relief très tourmenté et les différences d'exposition créent en fait une multitude de régimes assez différents.

* JIMMA (Fig. 13e) est située dans le Sud-Ouest de l'Ethiopie. Les régimes de cette région (bordure sud exclue) sont caractérisés par:

- La longueur de la saison des pluies;
- Sa précocité, annonçant de fortes pluies de printemps, qui sont prolongées presque sans affaiblissement par les pluies d'été;
- Des pluies non négligeables en toutes saisons, l'hiver étant loin d'être totalement sec.

* La station de HARAR (Fig. 13f) est assez représentative des hauts-plateaux orientaux, ainsi que de la région des Lacs dans la Rift Valley éthiopienne. Les deux saisons des pluies sont ici assez nettes, avec une rémission caractéristique en juin voire juillet. En général, les pluies d'été l'emportent sur celles de printemps. Signalons que le pic estival est de plus en plus tardif à mesure que l'on va vers l'Est: de juillet à Harar, il passe à septembre à Erigavo, dans le Nord de la Somalie.

* Enfin, la station de GOBA (Fig. 13g) illustre le cas des versants abrupts regardant à l'Est vers les plaines de Somalie. Si la pointe pluviométrique de juillet/août reste importante, elle tend à être dépassée par celle de printemps (avril-mai). Un autre phénomène intéressant est l'existence d'un troisième pic peu marqué au début de l'automne (septembre ou octobre selon les stations).

c) La Dépression Dankalie et sa bordure montagneuse (type B3).

Ce qui fonde l'originalité de cette région peut se résumer dans l'opposition flagrante qui existe entre les deux seuls mois de juin et juillet. Le minimum de juin est ici particulièrement accentué, et contraste violemment avec juillet et août qui constituent de très loin les deux mois les plus arrosés de l'année. Les petites pluies de Belgh, communes à toute l'Ethiopie du Centre et de l'Est, sont dans cette région plutôt précoces, puisque centrées sur mars-avril.

Appartiennent en fait à ce domaine des régions géographiquement très différentes, dont les zones basses de la Dépression Afar, les escarpements qui la bordent, et même l'extrémité orientale du Plateau Nord-Ethiopien, entre Asmara au Nord, et Addis-Abeba au Sud.

Dans le fond de la dépression (DIKHIL, Fig. 13h), le régime bimodal (pics d'avril et d'août) est conforme à la description précédente, mais les précipitations sont extrêmement faibles à l'échelle annuelle. Cette région est cependant très méconnue, du fait de la quasi-absence de postes pluviométriques.

Les deux escarpements Ouest et Sud-Est sont relativement semblables. Toutefois, au Sud-Est (DIREDAWA, Fig. 13j), la rémission séparant les petites des grandes pluies est plus précoce que sur l'escarpement occidental (KOMBOLCHA, Fig. 13i), et le maximum principal d'été est beaucoup moins accentué.

3) Les régimes bimodaux de type Somali (Type C).

Nous avons regroupé dans un large ensemble un grand nombre de stations dont les maxima pluviométriques peuvent se situer sur des mois assez divers, mais qui présentent deux caractéristiques communes:

- leurs régimes sont tous franchement bimodaux;
- l'été boréal y est particulièrement sec.

Le domaine concerné est très vaste, puisqu'il s'étend du Sud du Kenya jusqu'à la pointe de la Corne. C'est un espace essentiellement continental (la côte, dans sa partie méridionale, présentant des caractères relativement distincts), correspondant à des plaines et bas-plateaux peu accidentés, et, au Kenya, à la partie Orientale des massifs montagneux.

En reprenant la figure 7, on remarque que les stations concernées se disposent d'une manière assez linéaire sur la droite du graphique, avec une progression assez régulière du Sud (en haut) vers le Nord (en bas). Ceci reflète le décalage progressif des deux saisons des pluies avec la latitude, lié au double passage de la ZCIT, avec des pluies encadrant étroitement l'hiver boréal à Voi, au Sud (Fig. 14a), et au contraire un long hiver sec à Galcaio (Somalie Centrale, Fig. 14d), où les pics se situent en fin de printemps et en début d'automne.

La terminologie somalie différencie parfaitement les quatre saisons qui résultent de ces rythmes bimodaux:

- Jilal, l'hiver boréal sec (dont la durée varie selon la latitude);
- Gu, la première saison des pluies (printemps);
- Hagai, l'été boréal sec;
- Der, la seconde saison des pluies (automne).

Les distinctions régionales que l'on peut faire ne sont pas basées sur la prééminence de l'une ou l'autre des saisons des pluies. En général, chacune enregistre des abats équivalents, sauf en altitude, où la première saison des pluies tend à l'emporter sur la seconde, en particulier le long des versants tournés au Sud-Est (comparer par exemple Nairobi, Fig. 14e, à Wajir, Fig. 14b ou Baidoa, Fig. 14c).

On distinguera 5 variantes périphériques, entourant un "noyau dur" bimodal typique.

a) Le Sud du Kenya (Type C1, cf VOI Fig. 14a).

Comme on l'a vu, les deux saisons des pluies tendent ici à se rejoindre, l'hiver boréal constituant une rémission peu marquée ne dépassant pas deux mois (un seul à Voi). Le maximum est généralement situé sur la seconde saison des pluies, et est tardif (novembre ou décembre), mais la longueur de la première saison des pluies le compense (avec un maximum restant tardif -avril-).

b) Les Hautes-Terres de l'Est du Kenya (Type C2, cf NAIROBI, Fig. 14e).

L'altitude de ces "Eastern Highlands", ainsi que leur orientation vers l'Est ou le Sud-Est, expliquent une relative abondance des précipitations. Deux autres

traits distinctifs sont, d'une part, la prépondérance de la première saison des pluies ("longues pluies" d'avril-mai), et d'autre part l'absence de saison totalement sèche. En particulier, l'été boréal enregistre quelques pluies, à la différence des basses plaines.

c) Le Nord-Ouest du Kenya (Type C3, cf LODWAR, Fig. 14f).

Dans la région du Lac Turkana, les totaux annuels sont très faibles, mais les rythmes ressemblent beaucoup à ceux de la sous-région précédente: poids de la première saison des pluies, faiblesse relative des pluies d'automne, et existence de quelques pluies intermédiaires. Un léger pic d'été boréal se dessine également, préfigurant en cela la situation observée dans les massifs situés plus au Nord ou plus au Sud.

d) Les plateaux de Somalie du Nord (Type C4, cf BURAO, Fig. 14g).

Au Nord-Ouest de la Somalie, dans l'ancien Somaliland britannique, les régimes se démarquent également de ceux des basses-terres avoisinantes par le raccourcissement de la saison sèche d'été boréal, et sa moindre rigueur. Le maximum de seconde saison des pluies (Der) y est précoce, puisque généralement observé en septembre.

e) La région sublittorale Sud (Type C5, cf ALESSANDRA-JILIB, Fig. 14h).

La côte Sud de l'Océan Indien présente certaines particularités (voir plus loin) qui s'atténuent assez vite dans l'intérieur, mais il existe une étroite zone sublittorale, à régime bimodal typique, recevant quand même quelques pluies d'été boréal (notamment en juin/ juillet).

f) Le coeur du domaine (Type C6; cf WAJIR, BAIDOA, GALCAIO, Fig 14b à d).

Partout ailleurs, c'est-à-dire sur une grande diagonale à cheval sur les frontières de la Somalie, de l'Ethiopie et du Nord-Est du Kenya, on a donc un régime somali "classique" avec deux saisons sèches et deux saisons des pluies nettement individualisées. Malgré l'étirement en latitude, les régimes se ressemblent

beaucoup, le premier maximum se situant en avril ou mai, le second en octobre ou novembre.

A cette sous-région, il faut ajouter la moitié Nord de la côte de l'Océan Indien, qui présente un régime similaire (OBBIA, Fig. 15a). Signalons seulement que les pluies d'hiver n'y sont pas totalement inconnues, mais que par contre la sécheresse de l'été y est absolue, juin contrastant nettement avec le maximum de mai.

4) Les particularismes de la Côte Sud de l'Océan Indien (Type D).

Le tronçon littoral qui s'étend le long de l'Océan Indien entre Mombasa, au Sud, et Mogadiscio, au Nord, présente plusieurs particularités qui ne permettent pas de le classer avec les régions intérieures de la Somalie et du Kenya, ni même avec le Nord de la Côte de l'Océan Indien.

Sans même faire intervenir les totaux annuels qui sont assez différents de ceux observés plus à l'intérieur des terres, trois éléments composent l'originalité de ces régimes pluviométriques:

- Un maximum très net de printemps boréal. Celui-ci est beaucoup plus tardif que celui des stations situées à la même latitude mais dans l'intérieur du continent. Il est d'ailleurs d'autant plus tardif que l'on va vers le Nord (mai sur la Côte Kényane, juin en Somalie).
- Ces pluies se poursuivent d'une façon plus modérée pendant tout l'été boréal, qui est donc une saison plutôt arrosée, au contraire de ce qui se passe dans l'intérieur.
- Le maximum secondaire d'automne boréal (octobre/ novembre) est à peine marqué, ce qui contraste aussi avec les régions continentales.

On peut faire trois distinctions au sein de cette région.

- Au Sud (MOMBASA, Fig. 15e), si le maximum d'avril-mai est prééminent, il n'y a pas de véritable saison sèche, l'hiver boréal enregistrant quelques pluies non négligeables.
- Au Centre (MALINDI, Fig. 15d), le pic de mai s'accroît encore, avec des abats supérieurs à 300 mm.
- Au delà de la frontière somalienne, cette pointe s'amenuise considérablement, tout en étant retardée au mois de juin (KISIMAIO, Fig. 15c, et MOGADISCIO, Fig. 15b). L'hiver boréal, très sec, dure quatre mois.

5) Les régimes trimodaux de l'Ouest du Kenya et du Sud-Ouest de l'Ethiopie (E).

Dans ces deux petites régions d'altitude, séparées par la dépression du Lac Turkana, on observe, entre les deux saisons des pluies caractéristiques de l'Est du Kenya (printemps et automne boréaux), la présence d'un troisième pic vigoureux de précipitations d'été (juillet- août).

Pour toutes les stations, l'hiver boréal (décembre-février) est la saison la moins arrosée, encore que les pluies restent relativement importantes (jamais moins de 60 mm mensuels à MAJI, Fig. 16b, par exemple). Le maximum principal se place souvent en avril. Mais dans un grand nombre de stations, après une rémission à peine sensible en juin, les pluies d'été tendent à égaler voire à dépasser celles du printemps: c'est le cas sur les hauts-plateaux de l'Uasin Gishu ou de la Transzoia au Kenya (cf KITALE, Fig. 16a). En fait, c'est d'avantage l'orientation des massifs et des versants, que la position en latitude, qui rend compte de la prépondérance de l'une ou l'autre saison (dans l'extrême Sud-Ouest de l'Ethiopie, en position plus septentrionale mais faisant face au Sud, les pluies de printemps l'emportent nettement: cf Fig. 16b).

Dans presque tous les cas, la troisième saison des pluies (maximum de novembre) est la moins bien délimitée et la moins fournie.

Les régimes rencontrés de part et d'autre du couloir Turkana frappent par leurs ressemblances, et les distinctions que l'on peut faire ne séparent pas l'Ethiopie du Kenya. Elles sont plutôt fondées sur le poids de l'été dans le rythme annuel.

Dans les secteurs de plateaux les plus enclavés, la part de pluies tombant entre juin et septembre atteint 40 à 55% du total annuel: c'est le cas à Maralal, Nyahururu ou Eldoret au Kenya, à Bako en Ethiopie. Par contre, la proportion est moins importante dans les zones plus périphériques, ou ouvertes vers le Sud et l'Est.

II C / LES PROBLEMES DE LIMITES.

De nombreux travaux ont montré, en climatologie ou plus largement en géographie, l'arbitraire qui réside souvent dans la définition de limites spatiales

pour des phénomènes variant de façon continue sur le terrain. On voit bien, en Afrique de l'Ouest par exemple, la multiplicité des découpages proposés pour rendre compte de toutes les nuances climatiques comprises entre le Sahara et les régions littorales du Golfe de Guinée.

Dans la région qui nous intéresse, il n'y a pas non plus bien sûr de "frontières pluviométriques" intangibles. Mais les transitions entre deux domaines y sont souvent très rapides. Tout est affaire d'échelle évidemment. Dans bien des cas, sur des distances de quelques dizaines de kilomètres seulement, on peut même observer des changements spectaculaires dans les totaux ou les rythmes pluviométriques. A l'échelle de travail qui est la nôtre, qui est fonction de la taille de l'espace étudié (2,5 millions de km²), et du réseau de stations disponibles, de telles transitions peuvent être assimilées à de véritables limites. Nous en examinerons trois d'importance majeure en ce qui concerne les régimes pluviométriques.

1) L'opposition "régime d'hiver" et "régime d'été" le long des côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden.

La rencontre de ces deux régimes totalement inverses constitue l'un des plus spectaculaires contrastes de rythmes pluviométriques que l'on puisse observer dans le monde. Une seule comparaison, faite en Erythrée, illustre cette opposition: Massawa, sur la Mer Rouge, reçoit 88% de ses 190 mm annuels entre octobre et avril, alors qu'Asmara, à 70 km de là dans l'intérieur, reçoit 87% de son total annuel (530 mm) entre mai et septembre.

La faible densité des postes pluviométriques nous a incité à prendre trois secteurs témoins, en Erythrée Centrale, en République de Djibouti, et dans la région de Berbera (Somalie).

* L'Erythrée offre les meilleures conditions d'étude, avec un assez bon réseau de stations ayant fonctionné pendant l'occupation italienne (FANTOLI 1966). Dans cette région, un vigoureux escarpement de plus de 2000 mètres assure le contact entre une très étroite plaine littorale et un plateau sur lequel se trouve la ville d'Asmara (voir Fig. 19).

Les profils mensuels de précipitations (Fig. 19), sur la section Asmara/Massawa, montrent que les pluies d'été décroissent très vite du plateau vers le littoral. Les mois d'hiver (décembre à février) sont par contre secs à Asmara, mais

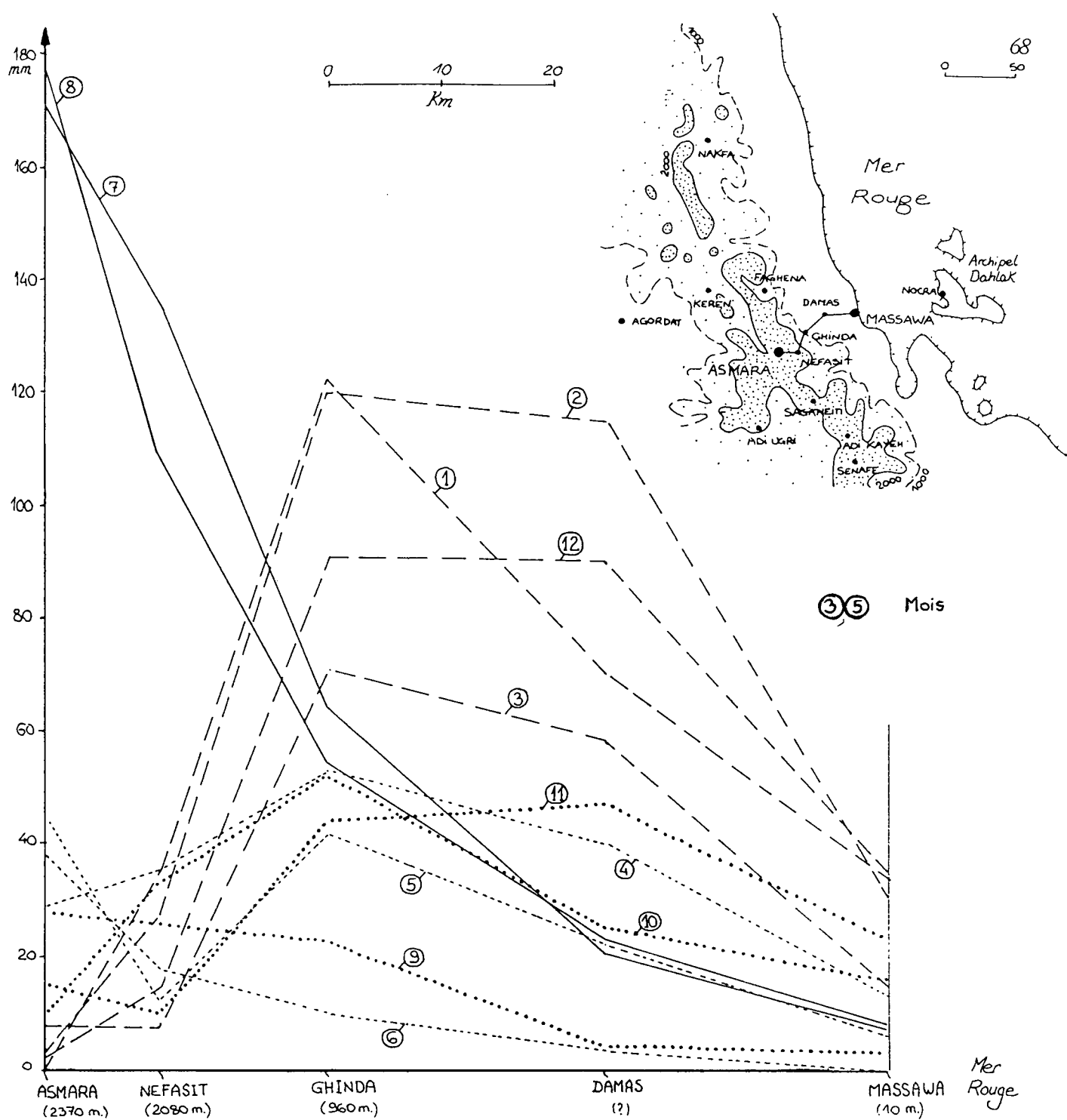
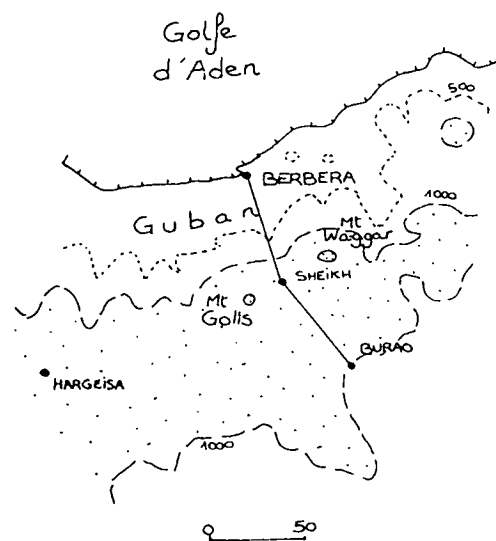


Fig. 19: COUPES PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES LE LONG DE L'ESCARPEMENT ERYTHREEN

Fig. 20: ESCARPEMENT NORD-SOMALIEN:
CROQUIS DE LOCALISATION.



bien arrosés sur le littoral et surtout à mi-pente de l'escarpement, où chacun des mois de cette période reçoit au moins 100 mm. Cette remarque permet de relativiser ce qui a été dit sur l'optimum pluviométrique, puisque pendant le semestre d'hiver, le long de la Mer Rouge, il semble se situer particulièrement bas, apparemment entre 800 et 1000 mètres seulement. Les observations montrent que le plafond nuageux, à cette saison, se maintient toujours au-dessous du plateau, et ce sur tout le Sud de la Mer Rouge. FLOHN (1965) a pu mettre en relief le rôle de la circulation diurne (brises de mer, conjuguées avec des vents anabatiques) pour expliquer la pluviométrie forte observée localement. Il n'en reste pas moins que l'absence de précipitations sur le plateau atteste la vigueur de l'inversion thermique située au-dessous de cette surface.

On voit d'autre part que l'interpénétration des rythmes d'hiver et d'été est très faible: Nefasit recueille 70% de ses précipitations annuelles entre juin et octobre, alors que Ghinda, à 15 km de là, en reçoit 73% pendant les autres mois (novembre à mai). Il est ainsi possible de fixer assez nettement la limite entre les deux types de régimes, soit vers 1200 ou 1300 mètres: cette précision résulte de la raideur et de la continuité de l'escarpement dans cette région.

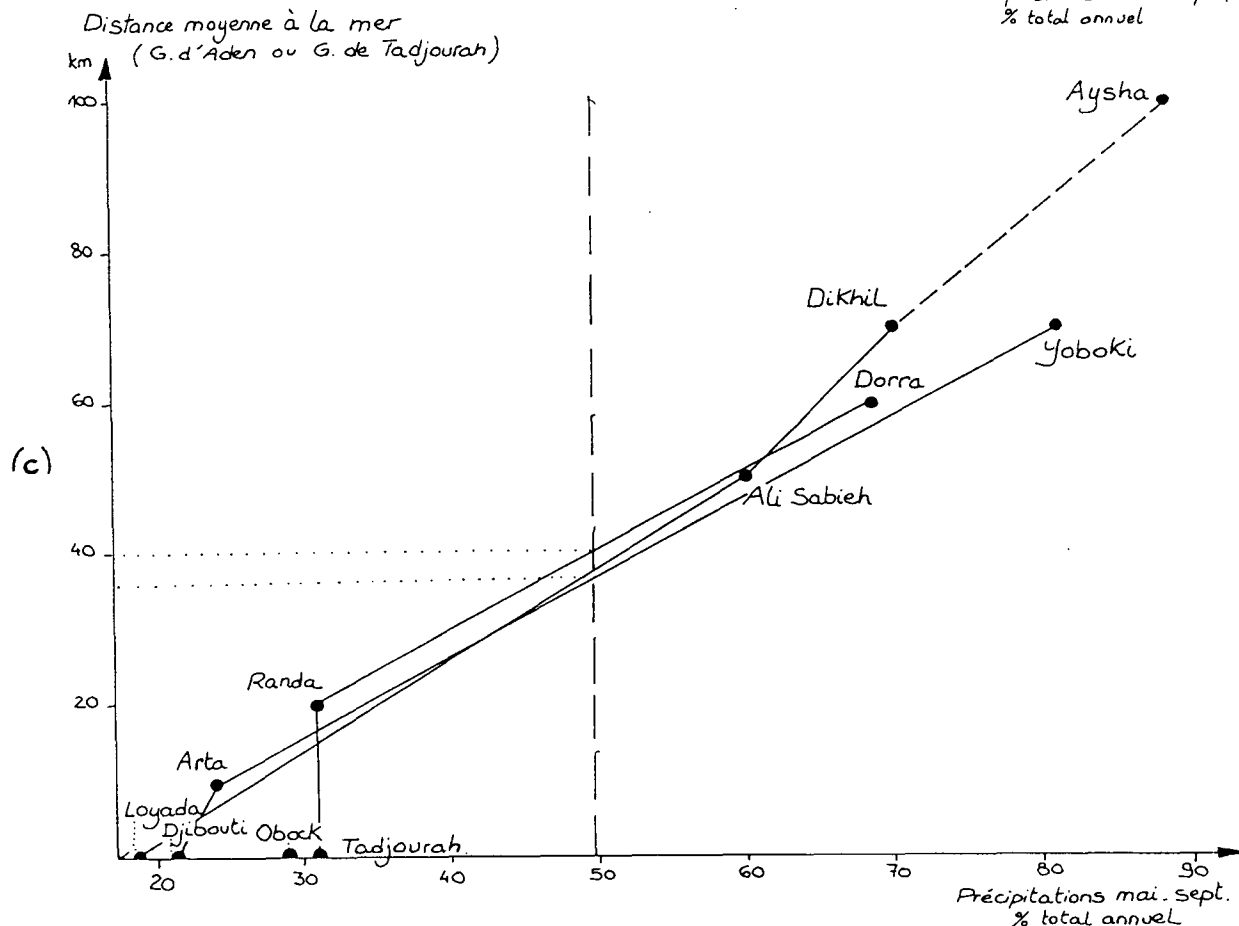
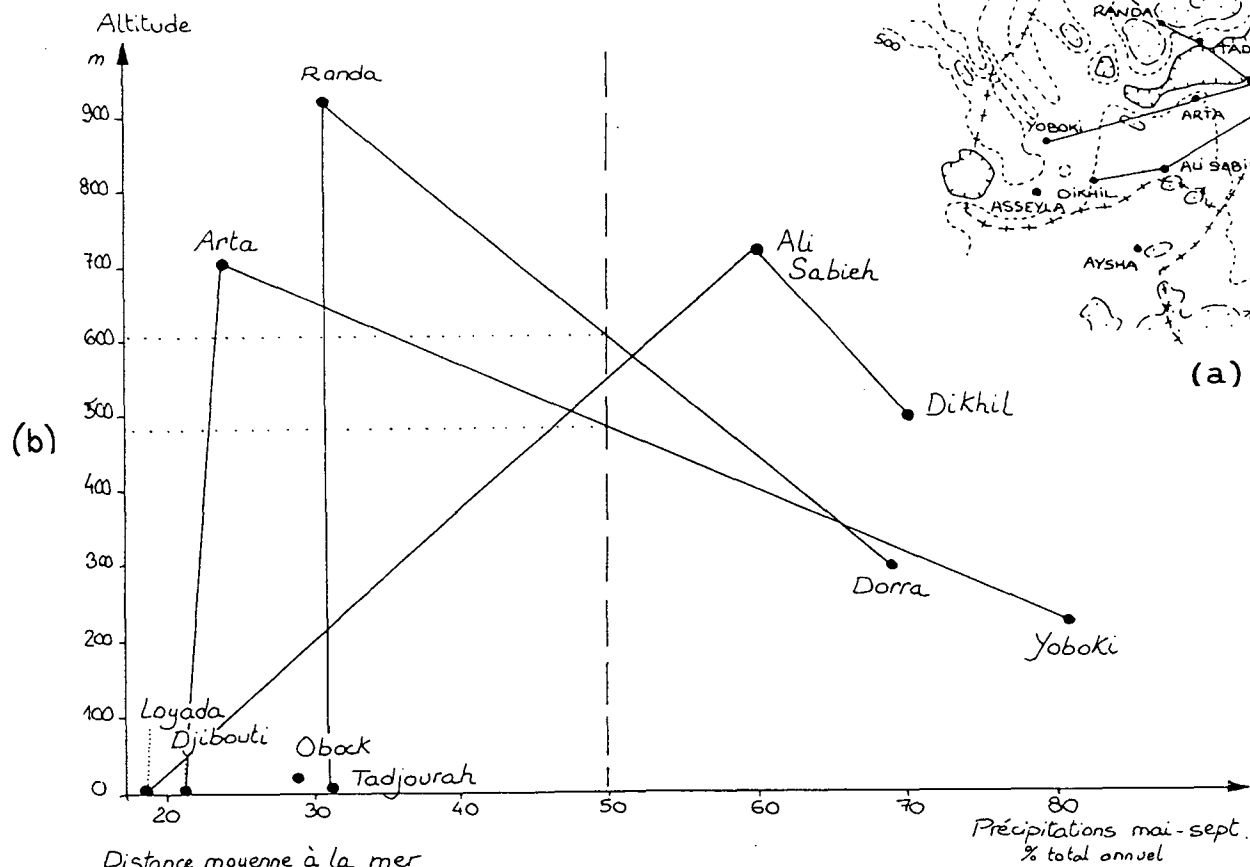
* Tel n'est pas le cas en République de Djibouti (Fig. 21), où la disposition topographique est beaucoup plus complexe, avec une forte imbrication des terres et des mers et un compartimentage lié à un puissant réseau de failles. Les figures montrent que ce n'est pas seulement l'altitude qui explique le passage d'un type de régime à l'autre: sur tous les profils, la proportion de pluies d'été augmente assez régulièrement vers l'intérieur, même après avoir dépassé la ligne de faîte. L'éloignement du littoral semble compter d'avantage: d'après la figure 21c, on peut fixer la limite régimes d'hiver/ régimes d'été entre 40 et 60 km du trait de côte seulement. Même si cela est moins évident qu'en Erythrée (les totaux mensuels étant bien moindres), la netteté relative de la transition reste remarquable. Ceci semble illustrer la puissance des mécanismes de brises, qui suffisent à créer sur une bande côtière des régimes très particuliers, d'une façon assez indépendante du relief.

* Plus à l'Est enfin, en Somalie du Nord, le contact pluies d'été/ pluies d'hiver est moins tranché, car les régimes de l'intérieur tendent à être bimodaux, avec deux maxima de fin de printemps et de début d'automne. En valeur relative,

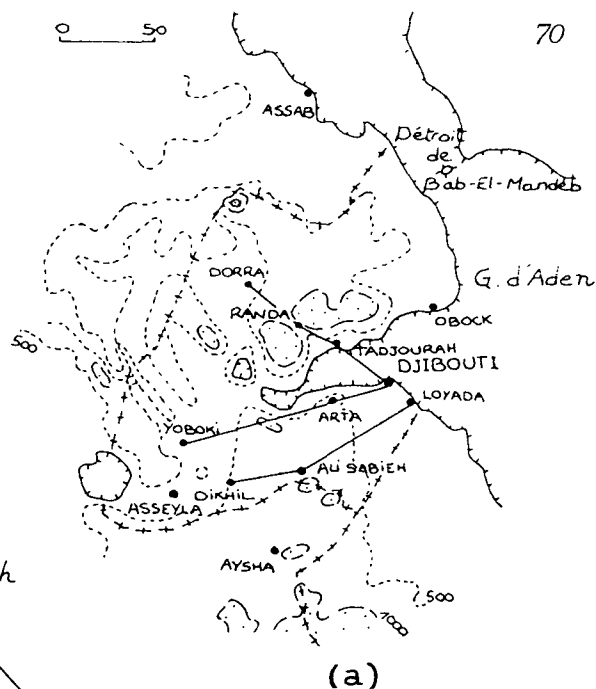
Fig. 21 : LIMITE ENTRE REGIMES D'ETE ET REGIMES D'HIVER EN REPUBLIQUE DE DJIBOUTI.

(a) Croquis de Localisation

(b) Pourcentage de pluies de semestre d'été (mai/ septembre) en fonction de l'altitude



(c) Pourcentage de pluies de semestre d'été en fonction de la distance à la mer.



(a)

l'opposition entre les deux types de rythmes pluviométriques reste néanmoins parlante, si l'on compare Berbera et Sheikh:

	Altitude	Nov.-Avr. (% tot.ann.)	Mai-Oct. (% tot.ann.)
BERBERA	8 m	72	28
SHEIKH	1430 m	34	66

La station de Sheikh étant située légèrement au Nord de la ligne de crête des massifs nord-somaliens, on peut comme en Erythrée placer la limite entre les deux rythmes à mi-pente de l'escarpement faisant face à la mer.

En guise de conclusion à cette étude, on peut donc dire que sur toute cette bande littorale Mer Rouge/ Golfe d'Aden, en hiver comme en été, ce sont avant tout les influences marines locales qui semblent gouverner les rythmes pluviométriques. L'altitude n'a en fait pour conséquence que d'exaspérer localement les précipitations. La limite entre les régimes d'hiver et les régimes d'été se place à une distance presque fixe du littoral (une cinquantaine de kilomètres) et peut être assimilée à une limite des influences marines, soit en première approximation à celle du régime de brises.

2) La limite orientale des pluies d'été boréal en Ethiopie et au Kenya.

Si les pluies d'été "délaissent" la bordure littorale de la Mer Rouge, elles n'existent pas non plus à l'Est des plateaux éthiopiens et kényans. La limite orientale de ces régimes à maximum d'été boréal est intéressante à suivre. Pour la mettre en évidence, on considérera cette fois la saison d'été stricto sensu, c'est-à-dire les 4 mois de juin à septembre. En effet, rappelons que plus à l'Est prévaut un régime bimodal (pluies de printemps et d'automne) avec une forte sécheresse pendant ces 4 mois d'été.

On a vu que, dans l'ensemble, les cartes 6g à 6j montraient une nette correspondance entre pluies et relief -disons même entre pluies et altitude-. A la lumière des profils réalisés sur le rebord oriental des plateaux d'Ethiopie et du Kenya (Fig. 23), on constate que l'altitude à partir de laquelle l'été constitue une saison des pluies significative se situe entre 1000 et 2000 mètres. Cette limite (il est vrai arbitraire, fixée à 30% de précipitations entre juin et septembre) est basse au

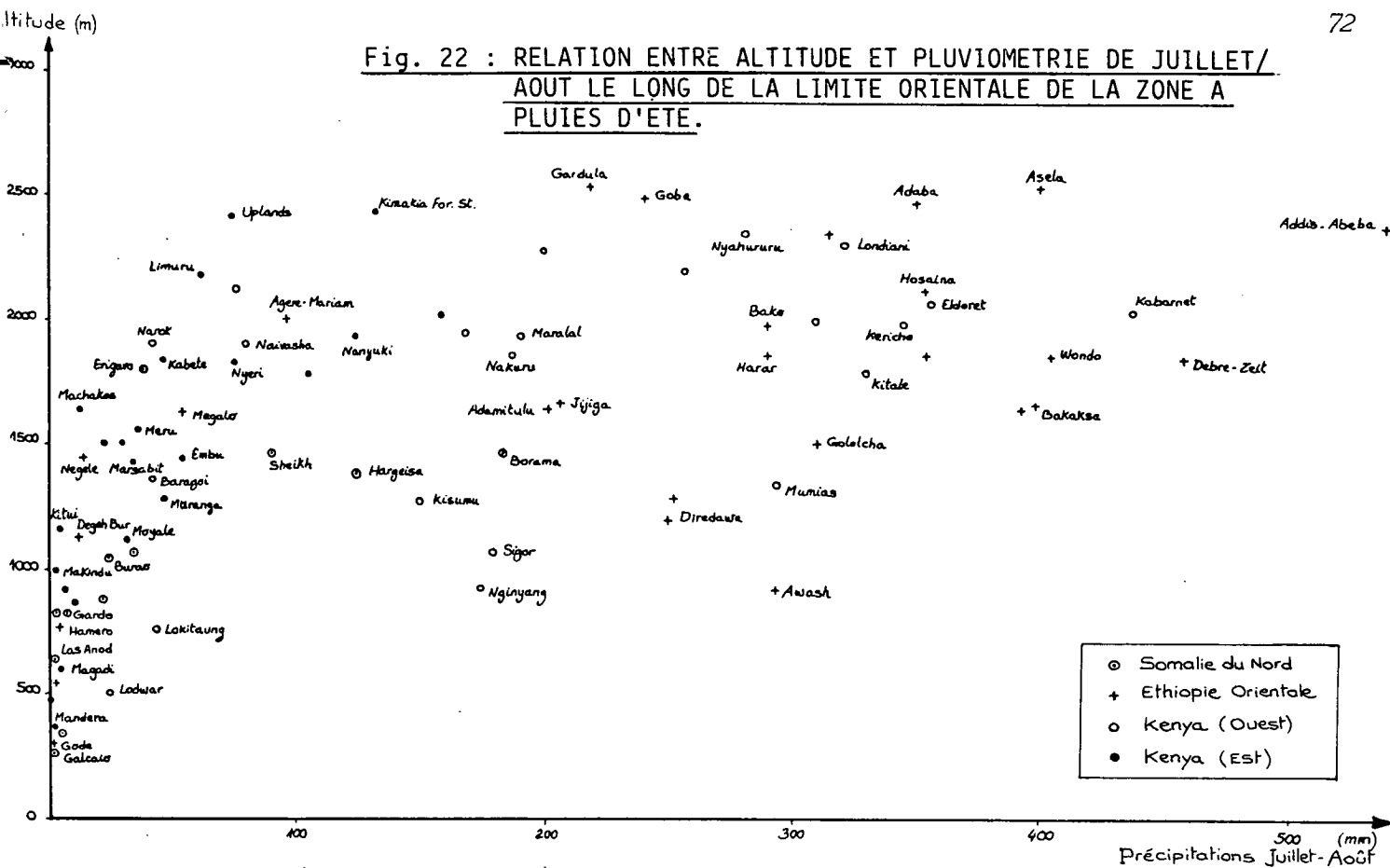
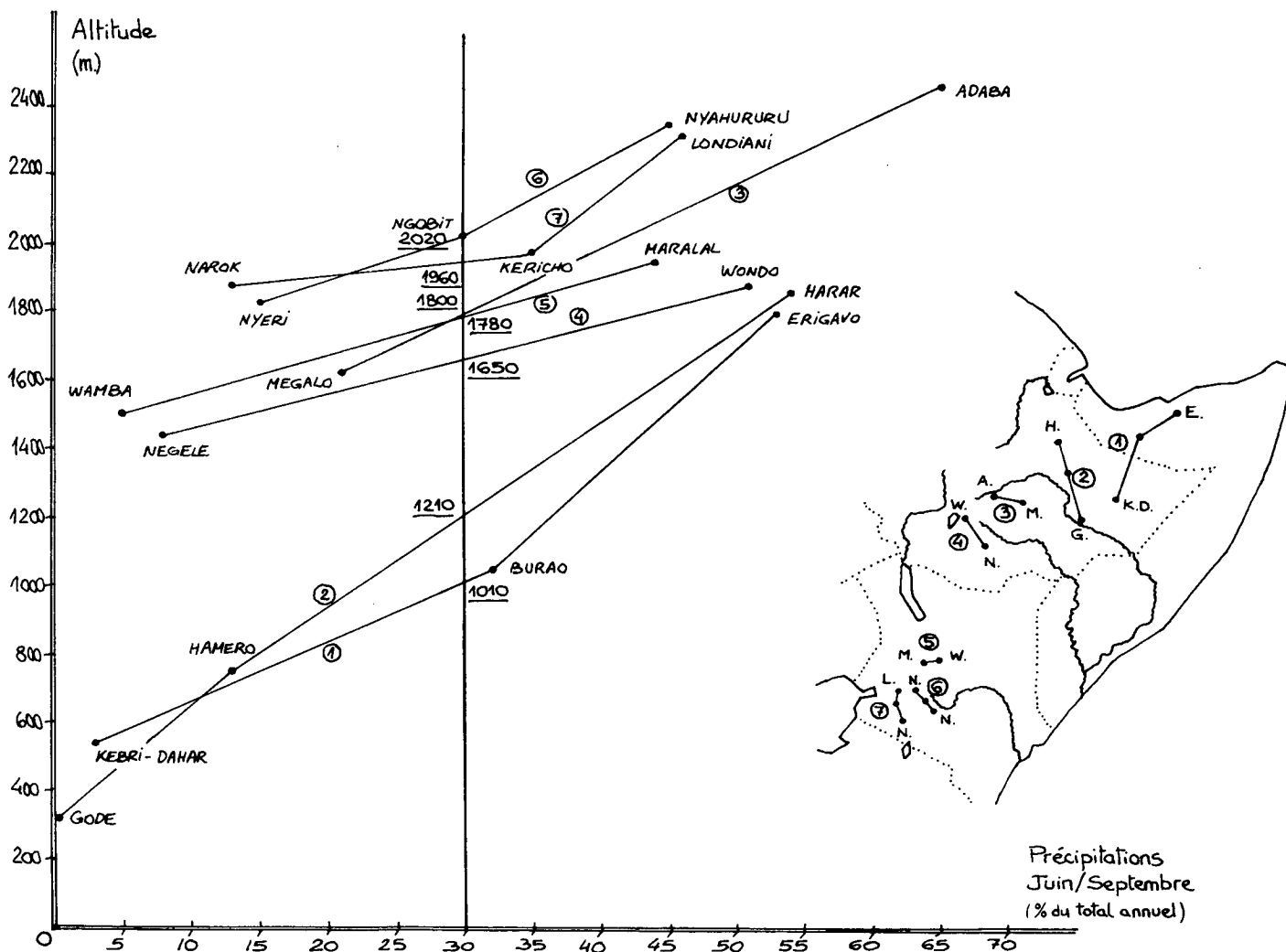


Fig. 23 : ALTITUDE DE LA LIMITE DES PLUIES D'ETE D'APRES 7 PROFILS PLUVIOMETRIQUES.



Nord (Somalie) mais elle s'élève dans le Sud de l'Ethiopie et au Kenya, où elle se place vers 1900 ou 2000 mètres sur les versants orientés plein Est.

Pour détailler la relation, le graphique 22 présente les quantités d'eau reçues en juillet-août (cœur de la saison des pluies d'été) en fonction de l'altitude des stations, dans le secteur qui nous intéresse.

La correspondance pluies d'été/ altitude y paraît nettement moins évidente: si les stations situées au-dessous de 800 mètres ont toutes des précipitations cumulées de juillet-août inférieures à 50 mm, on observe une grande diversité plus haut en altitude. A altitude égale, les stations de Bakaksa et Megalo (Province du Bale en Ethiopie) reçoivent respectivement 400 et 50 mm pour ces deux mois. Au Kenya, vers 2100 mètres, il existe une semblable opposition entre Kabarnet (440 mm) et Limuru (60 mm).

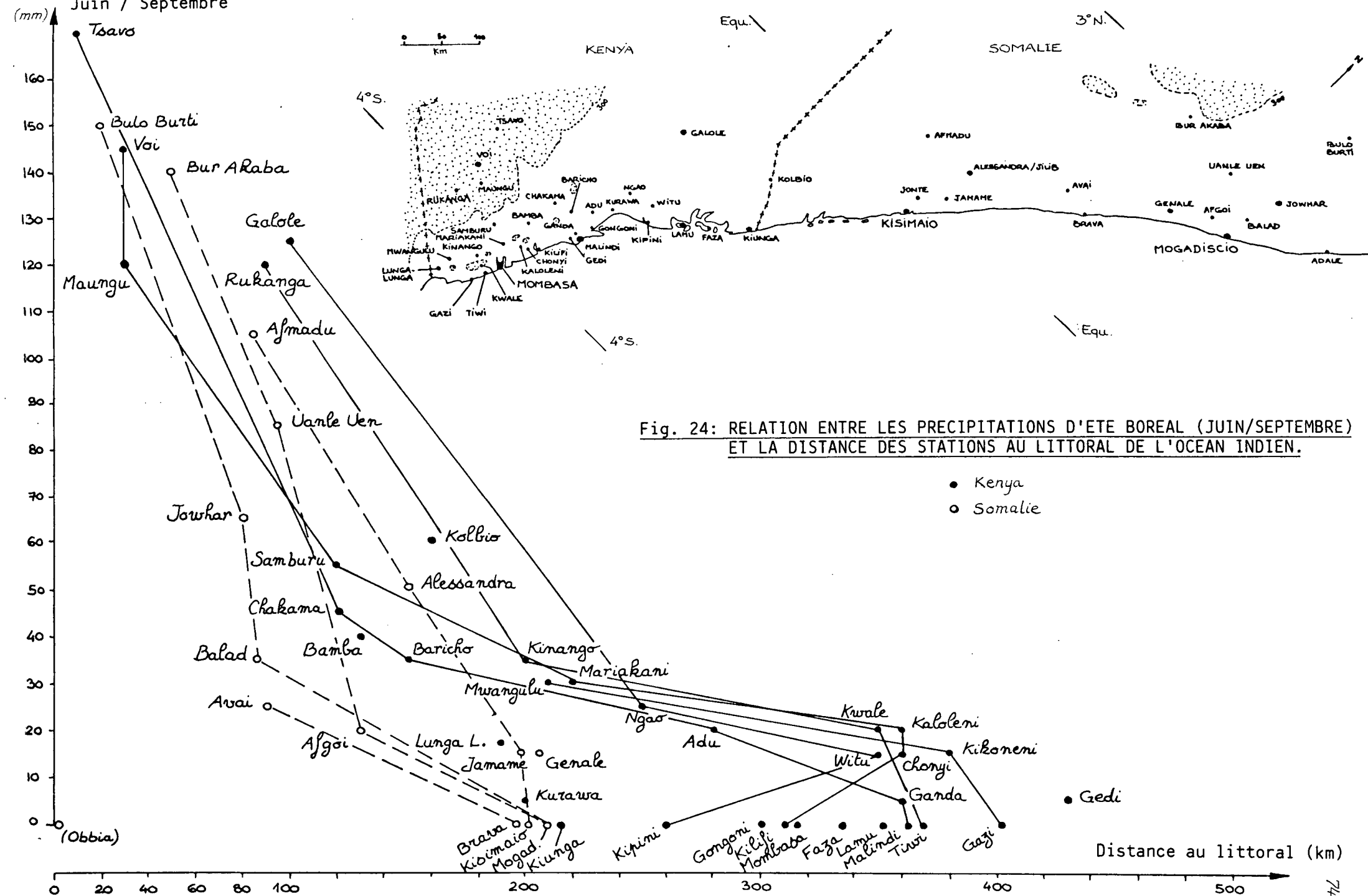
C'est que le facteur d'orientation joue largement lui aussi. Ainsi, dans le bassin de l'Awash, abrité de la mousson indienne par les monts du Harar, et malgré la faible altitude (moins de 1000 mètres), les pluies d'été concourent à hauteur de plus de 50% du total annuel. Au contraire, dans une moindre mesure, les stations d'altitude de la bordure Est enregistrent des pourcentages souvent plus faibles de précipitations estivales. Ces quelques remarques montrent combien les caractéristiques internes de la mousson de SW d'origine "congolaise" tendent à primer sur d'éventuels phénomènes de confluence avec les flux originaires de l'Océan Indien. Les pluies enregistrées dans la région du Lac Turkana, où la confluence des deux moussons est manifeste, sont en effet tout aussi faibles que celles de la dépression de l'Awash, plus au Nord, où pourtant le flux de mousson est subsident après son passage sur le massif éthiopien.

3) Les phénomènes particuliers aux plaines bordières de l'Océan Indien.

Si le rythme bimodal (pluies de Gu et de Der, été sec) est caractéristique de la plus grande partie des plaines de Somalie et du Kenya, on a vu que sur une étroite façade littorale au Sud de Mogadiscio, le minimum d'été n'existait pas.

En fait, on retrouve pratiquement en toutes saisons des différences sensibles entre le littoral et l'intérieur. Mais l'originalité côtière se limite à une bande extrêmement mince: guère plus de 20 à 40 km, d'après la figure 24, donnant la pluviométrie d'été boréal en fonction de la distance à la mer.

Précipitations
Juin / Septembre



Le gradient horizontal de précipitations (différence entre littoral et intérieur) augmente du Nord au Sud. En Somalie du Sud, on peut l'estimer pour l'été boréal (juin-septembre) à entre 1 et 1,5 mm de pluie par kilomètre. Sur la Côte Kenya, il y a souvent une légère augmentation des précipitations quelques kilomètres en arrière du rivage, liée à la présence quelques collines (Shimba Hills, ...), mais les pluies diminuent très rapidement au-delà. Le gradient y est énorme: 5 à 10 mm/km, en dépit de la faiblesse du relief. Passés une quarantaine de kilomètres en arrière du littoral, la diminution des pluies moyennes pendant cette saison est bien plus lente (1 à 2 mm/km).

On observe donc, au Kenya notamment, une limite très marquée pour les précipitations côtières d'été, directement fonction de l'éloignement au rivage, soit vers 25 à 30 km à l'intérieur des terres. Il semble (voir plus haut) que l'essentiel de ces pluies côtières soient liées à des mécanismes diurnes, mais l'existence de perturbations plus organisées en provenance du Sud-Est est prouvée, sans que l'on comprenne véritablement pourquoi elles ne donnent quasiment aucune pluie dans l'intérieur.

Conclusion de la deuxième partie.

L'examen des régimes pluviométriques montre qu'il est impossible bien sûr de considérer la Corne de l'Afrique comme un ensemble homogène du point de vue pluviométrique, ce qui ne veut pas dire qu'il soit vain de rechercher des traits communs dans l'évolution temporelle des précipitations.

Même au-delà de la distinction majeure, en gros méridienne, qui sépare les régimes d'été, à l'ouest, de régimes généralement bimodaux, à l'est, il subsiste des différences régionales considérables, où, là encore, ce n'est pas tant la latitude que la position par rapport au littoral ou au relief, qui sert de facteur discriminant.

La relative netteté des "frontières" pluviométriques que nous venons de définir permet de penser que chacun des trois grands systèmes de la circulation atmosphérique mondiale qui affectent la région (moussons indienne et atlantique, circulation tempérée) est perçu ici dans ses aspects marginaux, c'est-à-dire en limite du champ d'action. L'étroitesse des zones de transition semble indiquer une faiblesse des interactions entre ces trois domaines, ce qui militerait en faveur d'un

rôle "passif" de la Corne vis-à-vis de la circulation atmosphérique globale. Dans l'état actuel de nos connaissances, la région ne paraît pas en effet jouer de rôle moteur dans la dynamique atmosphérique générale (que ce soit au niveau du Jet Tropical d'Est ou du Jet Somali par exemple), si ce n'est l'effet permanent induit par le relief. Cette relative passivité reste cependant à démontrer, dans la mesure où la Corne elle-même n'est pas exempte de larges fluctuations climatiques, que nous allons tenter maintenant de présenter.

TROISIEME PARTIE

QUELQUES ASPECTS DES VARIATIONS TEMPORELLES DES PRECIPITATIONS.

Dans toute la Corne de l'Afrique, les irrégularités de la distribution des précipitations au fil des ans, qui se manifestent par de fréquentes famines ou par des inondations, nous rappellent qu'elles sont bien un élément climatique majeur, dont la correcte interprétation n'a pas qu'un intérêt scientifique, mais aussi économique et surtout humain.

On se trouve ainsi placé devant deux objectifs essentiels:

1 - Connaître et mesurer le risque.

Celui-ci peut être apprécié en termes de variabilité du climat autour du schéma moyen, et plus encore sans doute en termes de probabilité de sécheresse. Celle-ci constitue le "risque" climatique le plus sérieux dans toute cette région, compte tenu de ses structures économiques basées sur l'élevage et l'agriculture -souvent d'ailleurs celle dite de subsistance-.

2 - Comprendre et prévoir les fluctuations.

La prévision des variations pluviométriques, qui est le but ultérieur, passe par une compréhension du mode et des causes de variation. Ces objectifs sont particulièrement ambitieux, aussi il ne sera question ici que de mettre en lumière certains aspects du mode de variation de la pluviométrie.

Le problème liminaire d'une telle étude est celui de la quantité et de la qualité des données utilisées. La base est l'existence de séries pluviométriques longues et homogènes, ce qui n'est le cas ni pour la Somalie, ni pour l'Ethiopie. De plus, les constants troubles politiques qui agitent ces pays font que les données sont rares, discontinues et difficilement accessibles. On se limitera en général, dans l'examen de l'organisation temporelle des séries pluviométriques, à des "études de cas" pour les stations possédant les meilleurs enregistrements. Elles ne peuvent donc prétendre décrire les fluctuations observées dans toute la Corne, mais fournissent

quelques résultats intéressants, en attendant de pouvoir rassembler une documentation plus exhaustive.

III A / LA MESURE DES RISQUES:

VARIABILITE ET FIABILITE DES PRECIPITATIONS.

1) De fortes variabilités interannuelles.

Un paramètre simple pour mesurer la variabilité interannuelle est le coefficient de variation (écart-type de la série d'observations divisé par la moyenne). La figure 26 présente sa distribution spatiale pour les cumuls annuels. Si on la compare avec la carte des précipitations moyennes (fig.3), on est frappé par leurs grandes similitudes. Les plus fortes variabilités (coefficients de variation supérieurs à 50%) correspondent aux régions les moins arrosées, c'est-à-dire la façade littorale nord-est, et un grand "V" dissymétrique, du Cap Guardafui jusqu'au Sud-Est Kényan et au Lac Turkana. La variabilité est faible en revanche dans les régions bien arrosées du Plateau Ethiopien, et, dans une moindre mesure, sur les plateaux du Kenya.

En observant d'une manière plus précise les coefficients de variation (fig. 25), on peut cependant noter qu'à pluviométrie égale, il existe une certaine diversité parmi les 59 stations analysées. La distinction faite entre stations d'altitude et stations "de plaine" semble indiquer que ces dernières enregistrent une variabilité plus forte, surtout en ce qui concerne les stations littorales. Ainsi, avec dans les deux cas 430 mm annuels, la pluviométrie de Mogadiscio est éminemment plus variable que celle de Keren, sur le Plateau Erythréen (c.v. de 46% et 20% respectivement).

Mais en fait pointe aussi une nette différence méridienne: toujours à total annuel semblable, on comparera Gambela, sur le piémont occidental du Massif Ethiopien (c.v. de 20%) et Meru, en altitude, mais sur les pentes du Mt Kenya faisant directement face aux flux issus de l'Océan Indien (c.v. de 28%). D'une façon générale, toutes les stations tournées vers l'Océan Indien ont une variabilité plus forte que les autres stations. Un examen plus détaillé, station par station, semble indiquer que cette différence serait moins liée aux régimes pluviométriques

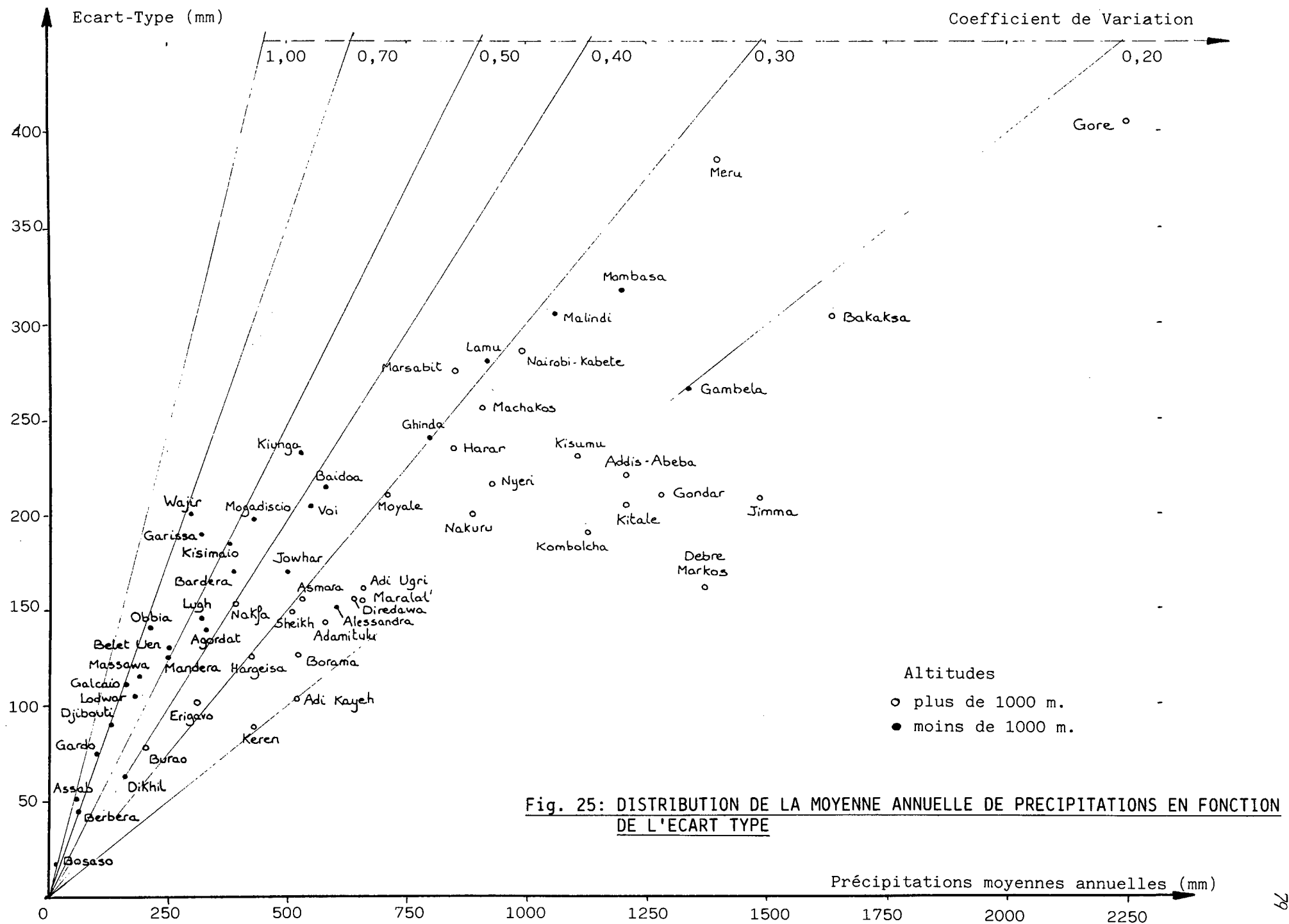


Fig. 26: COEFFICIENTS DE VARIATION DES
PRECIPITATIONS ANNUELLES.

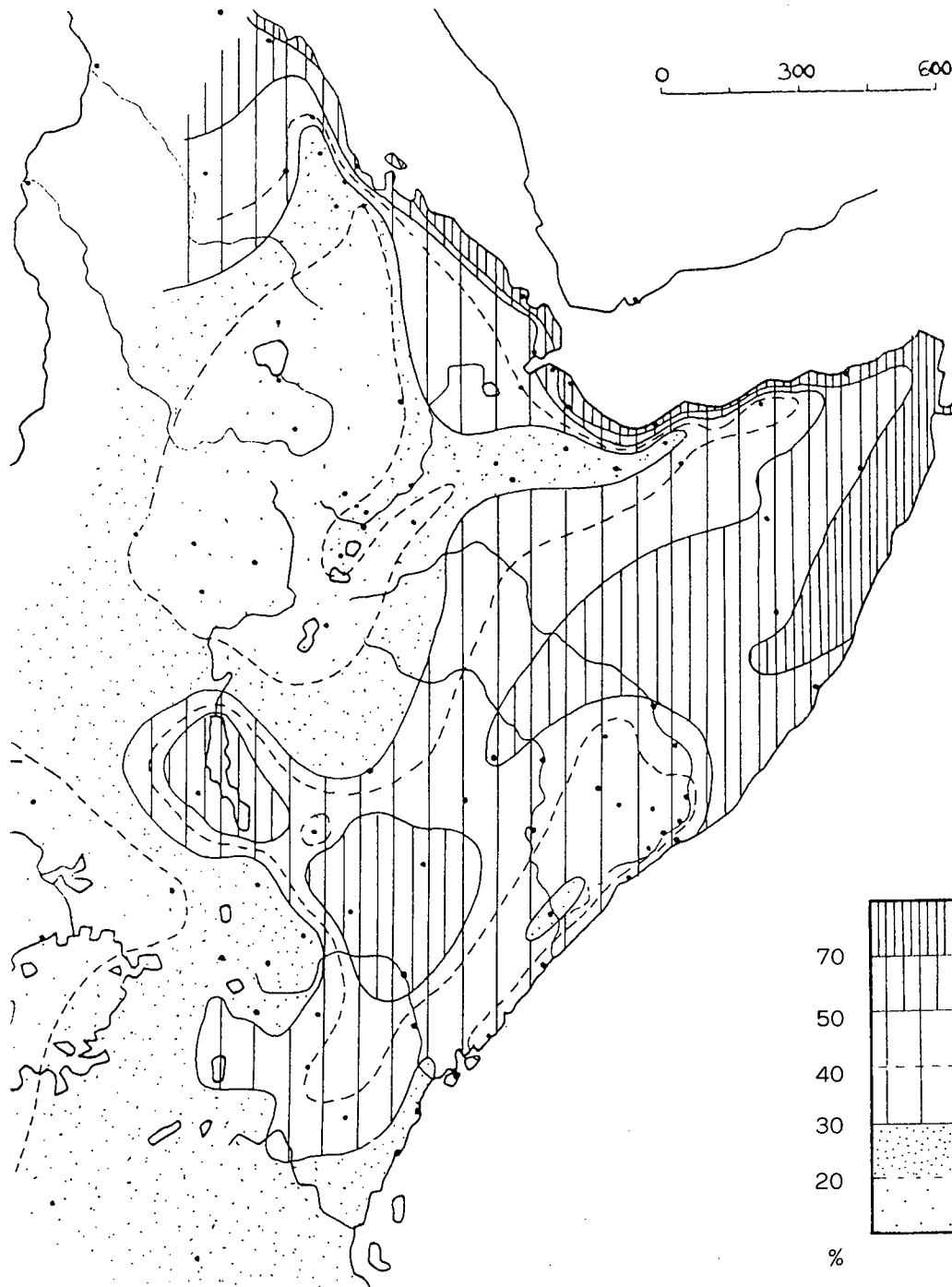
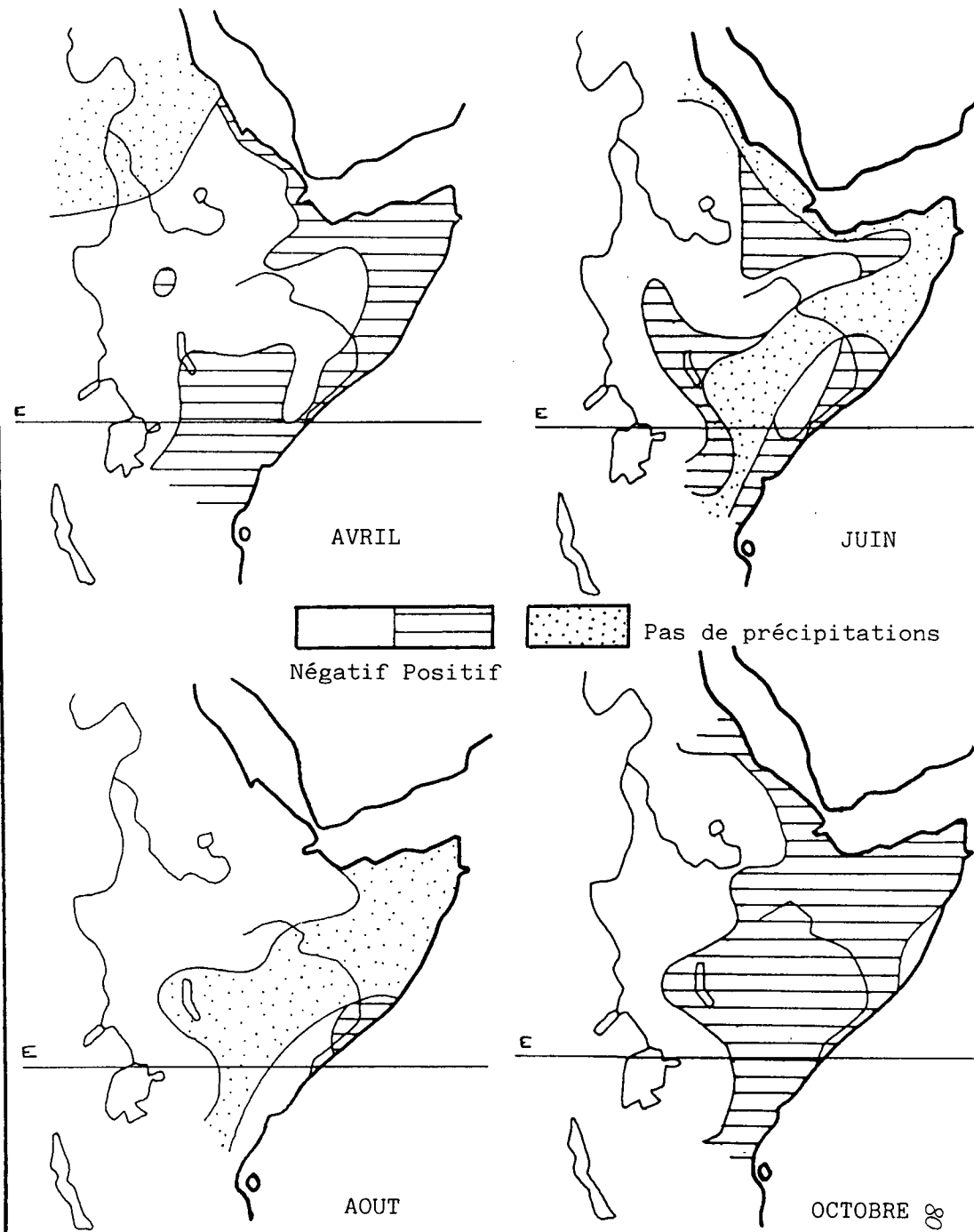


Fig. 27: ANOMALIES SPATIO-TEMPORELLES DE VARIABILITE
POUR 4 MOIS REPRESENTATIFS.



qu'à des différences dans les conditions pluviogéniques propres à chacun des domaines (est et ouest).

La descente au pas de temps saisonnier confirme ceci, mais elle est rendue délicate par le fait que les coefficients de variation sont difficiles à comparer d'une station à l'autre, et plus encore d'une saison à l'autre, dans la mesure où les saisons n'ont pas forcément la même durée.

La figure 27 présente les anomalies de variabilité pour quatre mois représentatifs, correction faite de la pluviométrie moyenne de chaque mois (une anomalie positive représentant ainsi une variabilité plus forte que celle décrite par la courbe de régression de la moyenne en fonction de l'écart-type, et tracée pour tous les mois et toutes les stations pris conjointement). Les cartes mettent en avant, quels que soient les mois considérés, l'opposition ouest/est entre des régions ayant respectivement une faible/forte variabilité interannuelle. La plus grande irrégularité du "domaine indien", à l'est, n'est donc pas due à la bimodalité des régimes, puisque pour chaque mois pris individuellement, on retrouve cette plus forte variabilité (voir notamment avril et octobre). Remarquons d'ailleurs que la seconde saison des pluies (octobre-décembre) est nettement plus irrégulière que la première (avril-mai) dans toutes les basses-terres de Somalie et du Kenya. Le mois le plus stable semble être le mois d'août, et ce dans l'ensemble de la Corne.

Outre l'opposition ouest/est, quelques singularités régionales sont à noter:

- * La forte variabilité de juin ("creux" pluviométrique moyen) sur le rebord Nord-Est du Plateau Ethiope;
- * La variabilité relativement moindre de la zone sub-littorale en Somalie du Sud, notamment par rapport à la côte qui est caractérisée par d'amples fluctuations.

En revenant au pas de temps annuel, notons une évidence du caractère très imparfait du coefficient de variation pour mesurer la variabilité. L'exemple extrême de Bosaso permet de l'illustrer. Cette station située le long du Golfe d'Aden, à la "pointe" de la Corne, possède un très fort coefficient de variation de 110%. En fait, comme les précipitations annuelles y sont quasiment nulles (17 mm par an), ce fort c.v. relatif recouvre une faible variabilité absolue (le total annuel n'a jamais dépassé 70 mm sur 25 ans d'observations!): Bosaso est en fait l'exemple d'une station "immuablement sèche".

A l'inverse, les faibles c.v. des plateaux de l'Erythrée et du Tigré (voir par exemple Keren, Adi Kayeh ou Kombolcha sur la figure 25) contredisent le fait que ces régions sont touchées régulièrement par de très graves sécheresses.

Bien d'autres paramètres sont donc à prendre en compte pour obtenir une correcte (et utile) mesure de la variabilité.

2) La notion de fiabilité.

La fiabilité des pluies est évidemment d'un intérêt tout particulier quant à ses applications agro-climatologiques. En Afrique Orientale Britannique, la prise en compte précoce (East Africa Royal Commission Report, 1953-55) du caractère très fluctuant de la pluviométrie a donné suite à de nombreux travaux sur cette notion de "fiabilité des précipitations" ("reliability"). Ceux-ci ont montré qu'au lieu de considérer la pluviométrie moyenne, il était d'une bien plus grande utilité de mesurer "une pluviométrie sur laquelle on peut compter" (en termes de probabilité de recevoir plus de 500 ou 750 mm annuels, par exemple).

L'examen d'histogrammes de fréquence des précipitations annuelles (fig. 29), ou la simple prise en compte de la médiane des distributions, montrent que la moyenne surestime la pluviométrie généralement réalisée. LOVETT & WOOD (1976), dans une étude sur la fiabilité des précipitations en Ethiopie, ont remarqué que les distributions statistiques des totaux annuels étaient le plus souvent mieux décrites par des distributions de type Gumbel (dissymétriques, avec une plus grande fréquence d'années sèches) que par des distributions Normales.

En Somalie également, la station de Galcaio (Somalie Centrale) permet de faire la même observation, à un degré extrême, puisque, si la moyenne annuelle s'établit à 160 mm, en fait 60 % des totaux sont inférieurs à 150 mm. A Mogadiscio, d'une manière similaire, la moyenne atteint 425 mm, mais 61% des années enregistrent des précipitations inférieures à ce chiffre.

Faute de données pour un nombre suffisant de stations, il n'a pas été possible ici de tracer des cartes de probabilités de précipitations pour l'ensemble de la Corne (voir à ce sujet les travaux de GLOVER et al.(1954,1958) pour le Kenya et LOVETT & WOOD (1976) pour l'Ethiopie).

Fig. 28 : PERSISTENCE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES
(Autocorrélation de rang 1)

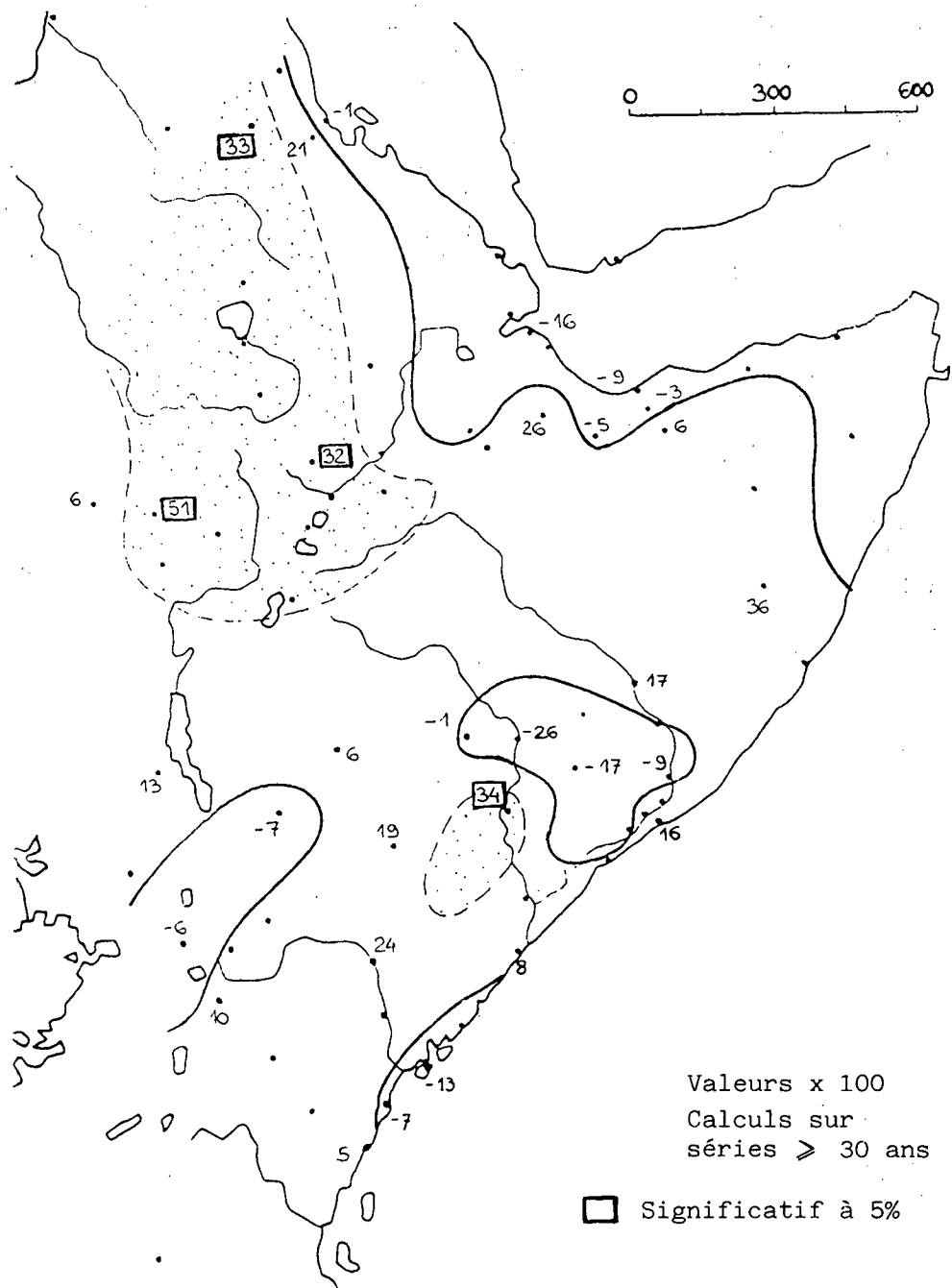
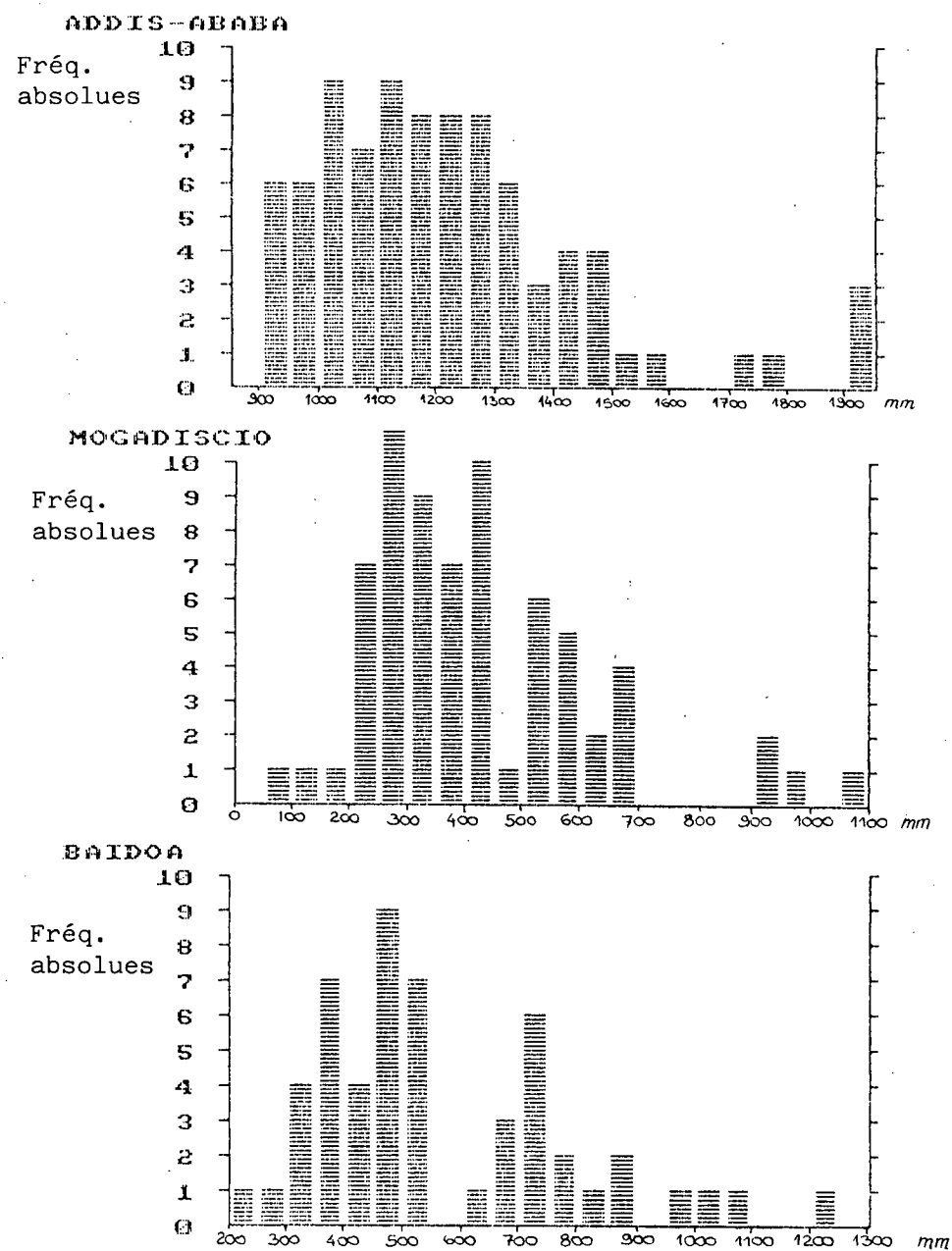


Fig. 29 : HISTOGRAMMES DE FREQUENCES DES
PRECIPITATIONS ANNUELLES



La succession de plusieurs années sèches aggrave largement le risque climatique (voir plus loin la notion de persistance interannuelle).

WOLDE-MARIAM (1982) a d'ailleurs montré que l'intensité des famines en Ethiopie dépendait en grande partie du nombre d'années de sécheresse consécutives. Un tel risque de répétition des anomalies existe indistinctement dans toutes les régions de la Corne. Toutefois, la probabilité d'enregistrer au moins deux fortes anomalies sèches consécutives ne dépasse guère, pour la plupart des stations, la probabilité aléatoire. Le tableau ci-dessous donne, pour quelques stations de longues séries, la probabilité d'avoir une seconde année sèche (anomalie réduite inférieure à 0,5) à la suite d'une première:

Station	Période	Probabilité $P(i+1) < -0,5$ si $P(i) < -0,5$
ASMARA	1911-85	0,46
ADDIS-ABEBA	1911-85	0,46
DJIBOUTI	1911-85	0,26
HARGEISA	1944-85	0,29
MOGADISCIO	1921-85	0,36
MANDERA	1942-85	0,33
MOMBASA	1911-85	0,38
NAKURU	1911-84	0,44

On remarque, assez logiquement, que les stations qui ont le plus faible risque de "persistance sèche" sont celles qui ont plusieurs saison des pluies bien délimitées (comme sur la façade "Océan Indien" par exemple), la concentration des pluies tendant au contraire à favoriser une certaine récurrence des anomalies sèches. Au total, ce risque de persistance est un facteur important, à intégrer à la notion de fiabilité des précipitations.

3) Mise en évidence d'une variabilité des régimes pluviométriques.

Un facteur "d'efficacité" des précipitations, au moins aussi important que le total annuel, est leur répartition au cours de l'année. Or les régimes pluviométriques décrivent, dans certaines stations, une situation moyenne qui est bien rarement réalisée en année vraie.

A Mogadiscio par exemple, où le régime, bimodal, présente un pic principal de juin et un pic secondaire de novembre, cette configuration n'a été observée que 5 fois sur les 74 ans de relevés! Dans 10% des cas, c'est novembre qui constitue le maximum principal, tandis que dans 45% des cas, le pic de "Der" (octobre/décembre) n'est pas significatif voire inexistant.

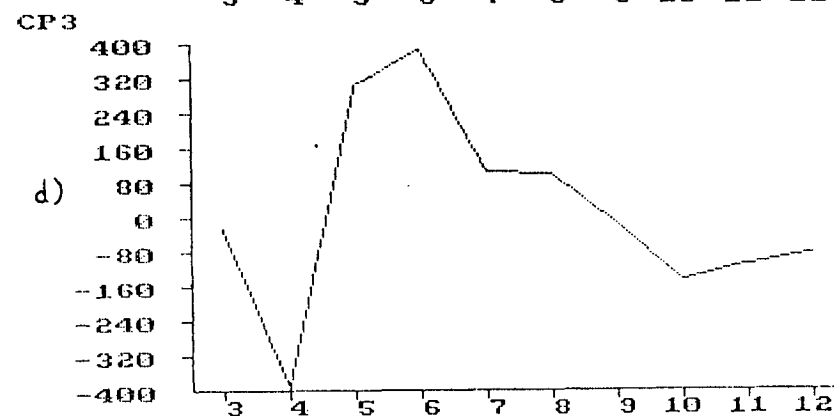
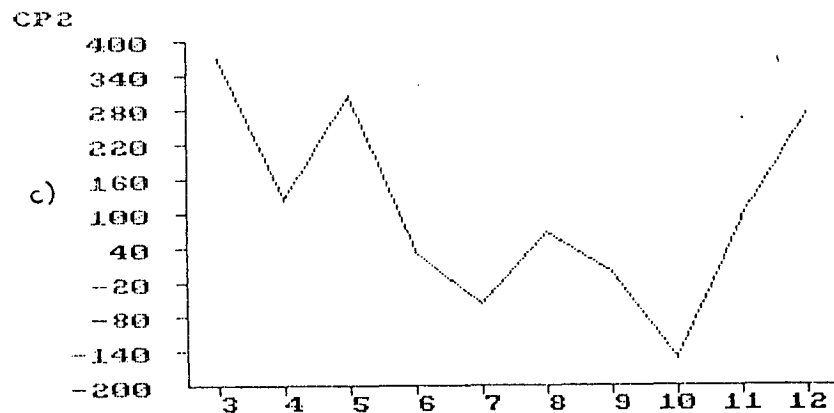
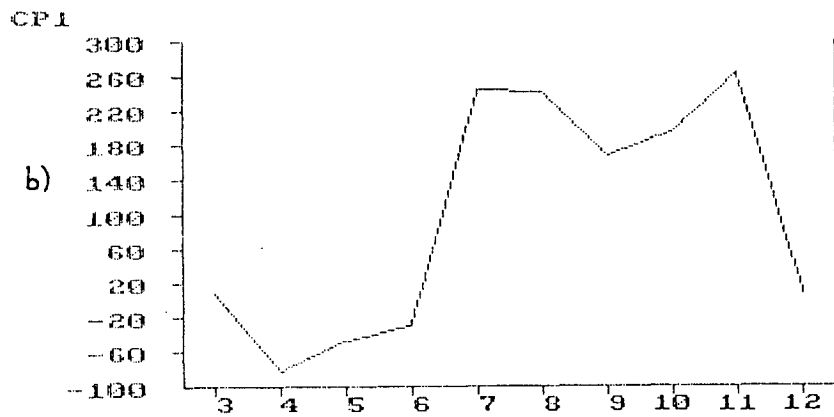
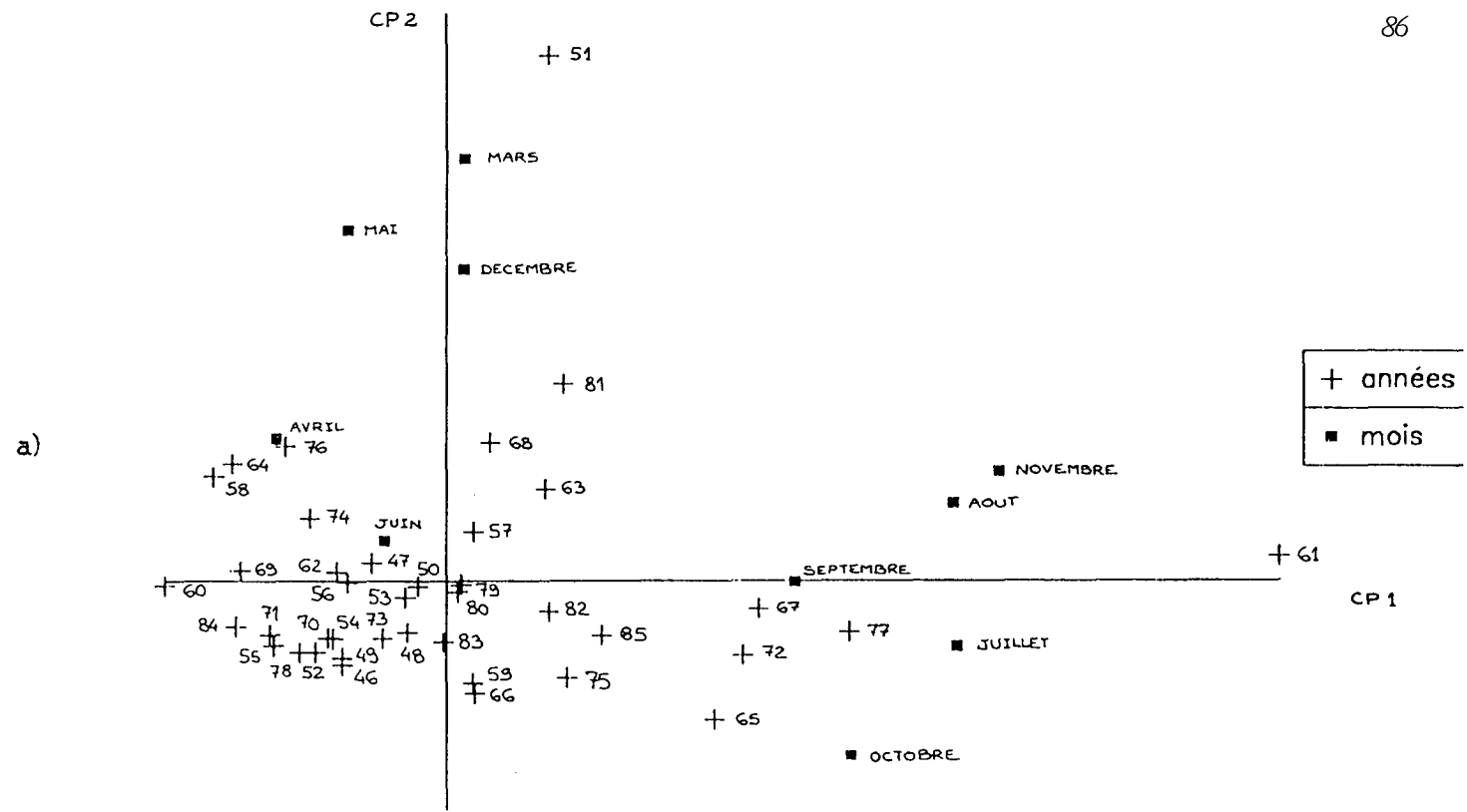
Cette évidente variabilité des régimes -moins forte toutefois dans les régions qui n'ont qu'une saison des pluies comme le Massif Ethiope- est particulièrement grave pour l'agriculture, car même si la quantité annuelle de précipitations est satisfaisante, une trop forte concentration dans le temps, ou encore l'impossibilité de connaître la période où ces pluies tomberont, sont deux éléments très préjudiciables.

Il est intéressant, en restant à l'échelle mensuelle, d'essayer de dégager une typologie des régimes observés en "années réelles", pour une station donnée, notamment en examinant la cohérence ou les covariations qui peuvent exister entre 2 ou plusieurs mois. Pour cela, des Analyses en Composantes Principales (selon la méthode Varimax, avec rotation) ont été pratiquées sur les précipitations mensuelles de plusieurs stations prises séparément. On a ainsi pu grouper les mois en petits ensembles assez homogènes assimilables à des saisons, et qu'on utilisera plus loin dans l'étude de l'organisation temporelle des séries pluviométriques.

L'exemple de Mogadiscio est présenté en figure 30. L'A.C.P. porte sur la pluviométrie de mars à décembre (janvier et février étant totalement secs) pour la période 1946-85. La première composante (24.5 % de la variance) explique principalement les variations des précipitations de fin de Hagai et de Der (juillet à novembre), mois qui apparaissent relativement homogènes. Un examen de la chronique (non montrée) indique en fait que celle-ci est très fortement marquée par l'année 1961, qui pour tous ces mois enregistre de larges excédents.

La seconde composante (18 % de la variance) est dirigée par les précipitations de Gu (surtout mars et mai) et de décembre: ceci semble correspondre à des années où le "centre de gravité" du rythme pluviométrique est décalé vers l'hiver boréal. Là encore, l'année 1951 à elle seule explique une grande part de la variance de cette composante.

Au contraire, la troisième composante (13.5% de la variance) est associée à des pluies tardives, c'est-à-dire décalées vers la fin de Gu ou le début de Hagai.



Mogadiscio 1946-1985

Fig. 30

A.C.P. SUR LES PRECIPITATIONS
MENSUELLES (MARS A DECEMBRE)
A MOGADISCIO (1946 A 1985)

- a) Plan principal
- b) Première Composante Principale (24.5% Variance)
- c) Seconde Composante Principale (18% Var.)
- d) Troisième Composante Principale (13.5% Var.)

Ces trois composantes décrivent donc une part importante des configurations mensuelles observées à Mogadiscio (au total 56% de la variance). Notons cependant deux insuffisances de la méthode quant à sa "valeur climatologique": le poids excessif des très fortes anomalies (comme 1961 à Mogadiscio et dans beaucoup d'autres stations somalo-kényanes), et le fait que la succession des anomalies d'un mois sur l'autre n'est pas prise en considération même si les composantes regroupent souvent des mois adjacents.

III B / L'ORGANISATION TEMPORELLE DES SERIES **PLUVIOMETRIQUES.**

1) L'évolution climatique: description des grandes oscillations.

a) Les phases sèches et humides à l'échelle historique.

Sans vouloir nous livrer à une étude paléoclimatique, il a semblé intéressant de préciser quelques-uns des traits de l'évolution pluviométrique dans cette région, ce qui peut aider à mieux comprendre les fluctuations actuelles ou à venir.

*** Les sources documentaires.**

A la différence de la plupart des autres régions africaines, nous avons en Afrique Orientale un assez grand nombre d'indicateurs de l'évolution du climat au cours des siècles passés. Ce sont en particulier:

- Les mesures de débit du Nil faites en Egypte depuis l'an 622. Celui-ci est essentiellement contrôlé par l'écoulement sur le plateau éthiopien (Nil Bleu, qui fournit plus de 80% de l'eau parvenant en Egypte), et, dans une moindre mesure, sur les Hautes-Terres d'Afrique Orientale (Nil Blanc, originaire du Lac Victoria).
- Les chroniques éthiopiennes écrites en langue guèze, qui font référence aux grandes famines qui ont touché l'empire depuis le XVIème siècle (voire même avant).
- Les variations des niveaux des lacs. Ceux-ci sont particulièrement nombreux en Ethiopie comme au Kenya, notamment dans la Rift Valley où ils n'ont bien

souvent aucun exutoire vers la mer. Cette dernière caractéristique fait que les fluctuations de leurs niveaux sont d'autant plus révélatrices de l'évolution climatique de leurs bassins versants.

* Les faits majeurs de l'évolution pluviométrique.

Les documents rassemblés permettent surtout de suivre l'évolution de la pluviométrie éthiopienne. Si l'on exclut les 200 dernières années, quatre grandes périodes sont cependant discernables pour la Corne prise dans son ensemble:

- Au cours des VIIe et VIIIe siècles de notre ère, de fortes crues du Nil indiquent une pluviométrie généralement bonne sur le Plateau Ethiopeen. Les niveaux apparemment hauts des lacs Abhé (exutoire de la rivière Awash) et Ziway (Rift Valley sud-éthiopienne) corroborent cette hypothèse (GASSE 1973, GROVE et al. 1975).

- Du IXe à la fin du XIe siècle, de nombreuses famines, en grande partie liées à des sécheresses, se déclarent en Ethiopie (SCHOVE 1977), et les débordements insuffisants du Nil se répètent en Egypte: à la suite de la famine de 1066-72, des émissaires égyptiens sont envoyés en Ethiopie pour "demander aux Ethiopiens de laisser le Nil poursuivre son cours" (WOOD 1977). Pendant cette période, il semble que l'on ait eu au contraire de hauts niveaux lacustres dans les régions équatoriales d'Afrique de l'Est (BERESFORD 1982).

- Au cours des XIIe et XIIIe siècles, la pluviométrie redevient généralement excédentaire en Ethiopie, où peu de sécheresses sont enregistrées, sauf pendant la période 1131-45. Jusqu'au XVIIe s., on a relativement peu de grandes sécheresses, mais les chroniques éthiopiennes présentent certaines lacunes. Au contraire, on observe plusieurs années de grandes inondations dans la vallée égyptienne du Nil, liées à des pluies torrentielles sur l'Ethiopie (comme en 1611). L'exception majeure est la grande sécheresse de 1560-62, très forte dans le Harar, où "pendant les trois années suivant l'assassinat de l'empereur Claudius, aucune pluie n'est tombée" (WOOD 1977).

- A partir de la seconde moitié du XVIIe s., la fréquence des sécheresses tend à augmenter en Ethiopie, avec toutefois une période plus favorisée au milieu du

XVIIIe s. (hauts niveaux du Nil). Signalons que les lacs d'Afrique Orientale, et ce depuis le XVe s. environ, ont à l'inverse des niveaux assez élevés.

Plusieurs graves famines frappent l'Ethiopie au cours du XIXe s.: en 1835-39, dans le Shoa (Ethiopie Centrale) et en Erythrée; en 1867-68; et surtout en 1888-92. Cette dernière est considérée comme la plus grave ayant affecté l'Ethiopie depuis plusieurs siècles. Amplifiée par une épidémie de peste bovine qui décime les troupeaux, elle aurait tué un tiers de la population.

Cette fin de XIXe s. est marquée à l'inverse par des niveaux plutôt hauts des lacs d'Afrique de l'Est, comme le Lac Tanganyika, le Lac Naivasha et même le Lac Turkana (alimenté principalement par le Sud de l'Ethiopie).

b) Les grandes fluctuations pluviométriques au cours du XXe s.

* Les données

L'ouverture des premières stations météorologiques, fin XIXe s. dans certaines localités côtières (Mombasa, Kisimaio, Massawa), puis début XXe s. dans les grands centres naissants de l'intérieur (Nairobi, Nakuru, Asmara, Addis-Abeba,...), permet de mieux cerner les grandes phases de l'évolution de la pluviométrie au cours des 100 dernières années.

Pour le Kenya, les données utilisées ici proviennent des publications de l'East African Meteorological Department, complétées pour la période récente par des données aimablement communiquées sur place par Mme Stella Aura. En ce qui concerne l'Ethiopie et la Somalie, les sources de base, pour la période antérieure à 1960, restent les travaux de FANTOLI (1965a, 1965b et 1966). Les séries somaliennes ont été complétées par un fichier gracieusement fourni par MM. P. Hutchinson et M. Hulme (Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich), avec l'autorisation de M. A. Odawa (Ministry of Agriculture, Mogadiscio). Enfin, les données récentes de Djibouti ont été recueillies sur place grâce à l'aide de M. Taher Allaoui, de la Direction de la Météorologie de Djibouti.

Rappelons toutefois que les données, en ce qui concerne l'Ethiopie, la Somalie et même le Nord du Kenya, sont très fragmentaires, et les périodes d'opération des stations très variables selon les régions, ce qui ne facilite pas les comparaisons.

* Les faits marquants de l'évolution.

Tout à la fin du XIXe s., les premiers relevés pluviométriques indiquent une diminution des précipitations surtout sur le Nord de la Corne de l'Afrique, et attestée par une baisse importante du débit du Nil à Assouan entre 1885 et 1905. Le Lac Turkana lui-même atteint un niveau relativement bas, et le Lac Chew Bahir (Sud de l'Ethiopie) s'assèche complètement. Curieusement, on observe aussi à Massawa une réduction considérable de la pluviométrie (moyenne 1891-98: 277 mm annuels; moyenne 1900-07: 123 mm), bien que dans cette station des bords de la Mer Rouge, et contrairement au Massif Ethiopien, la plus grande partie des précipitations tombe en hiver. Cette dégradation affecte partiellement aussi l'Ouest du Kenya.

Bien qu'il y ait des différences importantes selon les stations (fig 31), la pluviométrie se stabilise ou s'améliore dans les années 1910 et le début des années 1920. La période 1920-40 est généralement bien arrosée un peu partout dans la Corne, notamment en Somalie, comme en témoigne la rareté des grandes sécheresses (sauf celle qui a affecté le Nord du Kenya et la Somalie en 1932-34).

Par contre, les années quarante sont caractérisées par de bien médiocres précipitations, la plupart des régions étant concernées, notamment la Somalie et les régions sèches du Kenya. Au cours des années cinquante, la tendance reste à la faiblesse relative des précipitations, sauf en Erythrée. Les lacs d'Afrique Orientale ont alors un niveau particulièrement bas.

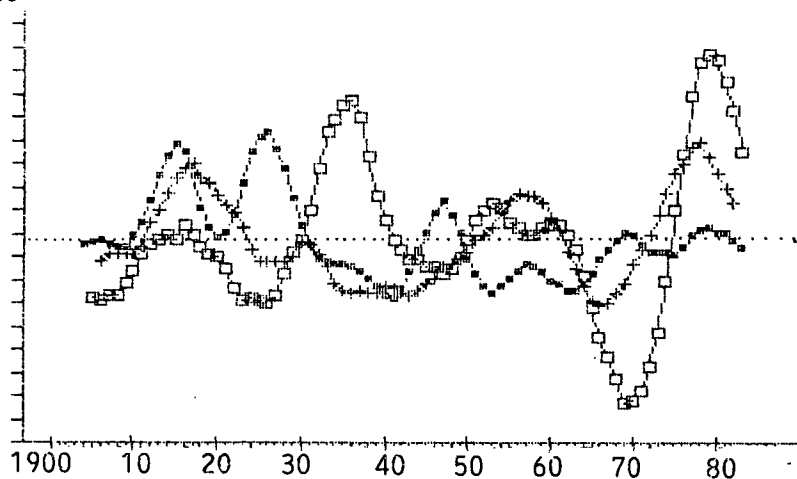
Un profond changement intervient dans les années soixante, qui enregistrent de hautes précipitations en Somalie, dans presque tout le Kenya, et dans certaines stations sud-éthiopiennes. Il en résulte une élévation réellement spectaculaire des niveaux lacustres du Victoria, du Turkana, et la remise en eau du Chew Bahir. A l'inverse, la pluviométrie se dégrade dans le Nord de l'Ethiopie, où commence une période sécheresse qui culminera dans le début des années soixante-dix.

Cette dernière sécheresse s'étendra au reste de l'Ethiopie, mais aussi à l'Est du Kenya et à la Somalie, entre 1972 et 1974. Au total, on dénombrera plusieurs centaines de milliers de morts, principalement en Ethiopie, où la sécheresse contribuera aussi à la chute de l'empereur Haile Selassie.

Fig. 31: EVOLUTION TEMPORELLE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE
DE 1900 A 1985 (FILTRAGE SUR 11 ANS).

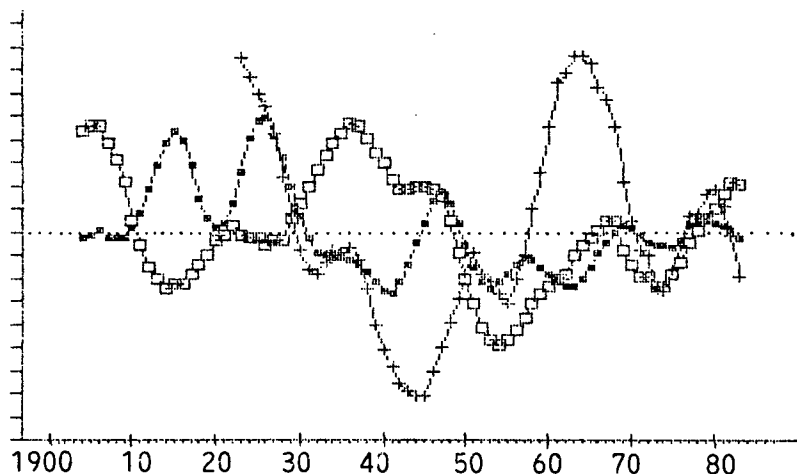
% moyenne

138
133
129
125
121
117
113
109
105
101
97
93
89
84
80
76
72
68
64



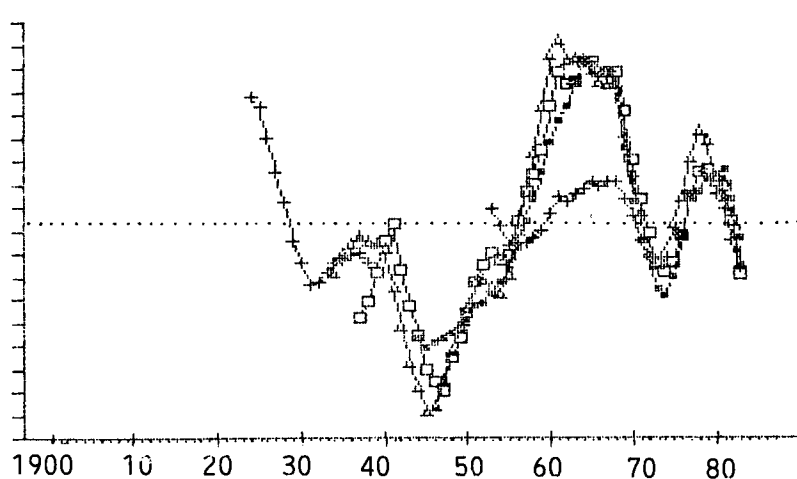
+ Nakuru
■ Addis-Abeba
□ Asmara

134
130
127
123
119
115
111
107
104
100
96
92
88
84
81
77
73
69
65



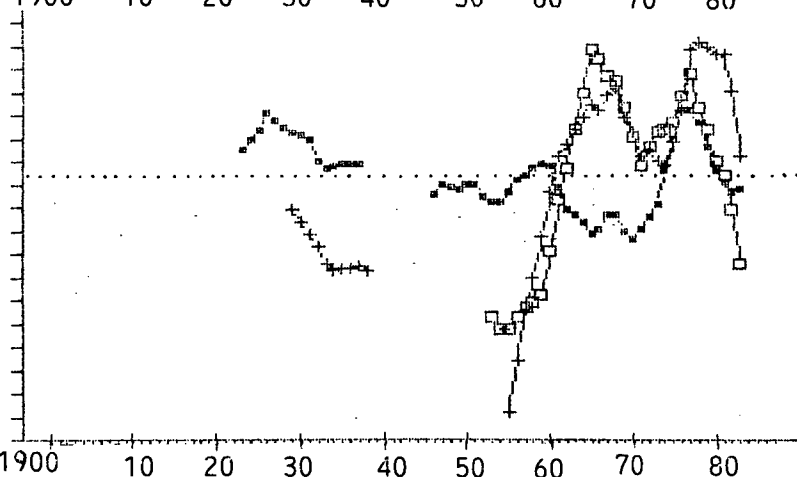
+ Mogadiscio
■ Addis-Abeba
□ Mombasa

143
138
133
128
123
118
113
108
103
98
93
88
83
78
73
68
63
58
53



+ Baidoa
■ Mandera
□ Wajir
△ Garissa

130
125
121
116
112
107
103
98
94
89
85
80
76
71
67
62
58
53
49



+ Belet Uen
■ Hargeisa
□ Galcaio

A la fin des années soixante-dix, on observe une amélioration générale, et des précipitations même très excédentaires affectent presque toute la Corne (voir par exemple Asmara, Hargeisa ou Nakuru sur la fig.31). La nouvelle dégradation du début des années quatre-vingts est pratiquement aussi prononcée que celle de la période 1970-75, voire plus dans le Nord-Est (Somalie du Nord et Est de l’Ethiopie). Elle affecte aussi partiellement le Kenya. Par contre, dans certaines régions d’Ethiopie, elle aura des conséquences particulièrement graves: c’est le cas au Tigré et au Wolo où, entre 1982 et 1985, on dénombre environ un-demi million de victimes.

c) Analyse détaillée de tendances récentes dans quelques stations de la Corne d’Afrique.

Plusieurs auteurs ont tenté d’étudier d’étudier statistiquement les tendances de la pluviométrie est-africaine. OGALLO (1980) a notamment analysé les précipitations annuelles (1922-1976) de 86 stations d’Afrique Orientale, dont 40 au Kenya. Sur ces dernières, 4 seulement présentent une tendance significative (calculée d’après les coefficients des rangs de Spearman). Les stations concernées sont celles de régions peu arrosées du Nord du Kenya (Lodwar, Wajir) et du Sud-Ouest du Kenya (Magadi, Narok), avec une tendance nette à l’augmentation des précipitations.

Nous ne présenterons pas ici d’analyse statistique de ce type, car le résultat dépend grandement de la fenêtre d’observation prise en compte, et d’années exceptionnelles aux extrémités de la série. Préférence a été donnée à un filtrage simple des données sur 5 ans (comme dans l’étude de RODHE et VIRJI, 1976), mais en travaillant également sur les précipitations saisonnières de quelques stations sans lacunes.

* ASMARA (Erythrée).

Comme on l’a vu plus haut, l’évolution de la pluviométrie en Erythrée est assez dissemblable de celle du reste de la Corne. Aucune tendance générale ne peut être observée, même sur des périodes de 30 à 40 ans. Pourtant, et en dépit du filtrage, de grandes fluctuations s’observent, dont les principales sont les pics de

1935-37 et 1979-81, et les creux du tout début du siècle et surtout de 1969-71 (fig.31).

L'examen des courbes lissées de précipitations mensuelles (fig.32) n'apporte guère de précisions. On voit que les oscillations précédentes s'expliquent essentiellement par les variations de la pluviométrie des mois de juillet et août (ces deux mois représentant à eux seuls 66% de la pluviométrie moyenne annuelle), et qui présentent une covariation évidente.

* ADDIS-ABEBA (Ethiopie Centrale).

A la différence d'Asmara, il semble exister une tendance à la baisse pour les précipitations annuelles, mais essentiellement sur la période 1915-1960, et un examen détaillé montre que celle-ci n'est due qu'à deux pics de forte pluviométrie au début du siècle (1914-16 et 1924-26). Depuis les années cinquante, la tendance serait plutôt à une hausse régulière.

La figure 33 donne le détail de l'évolution par saisons (telles qu'elles peuvent être définies à partir d'une A.C.P. sur les précipitations mensuelles). La tendance à la baisse de 1915 à 1960 se retrouve très bien dans les précipitations de la saison de Kirmet (juillet/septembre), mais aussi dans la "pré-saison" de mai-juin. L'augmentation au cours des 30 dernières années est au contraire assez nette pour ces deux saisons.

La période de Belgh (février/avril) se caractérise par de plus amples fluctuations et aucune tendance claire. Enfin, on notera pour les faibles pluies de fin de saison (octobre/novembre) de grandes oscillations sur 1915-1940, suivies d'une augmentation constante jusqu'à nos jours, seulement interrompue par des périodes sèches en 1970-75 et 1980-85.

* MOGADISCIO (Somalie littorale).

On observe ici à la fois des similarités et des différences avec Addis-Abeba. Le filtrage des données laisse subsister des fluctuations considérables, qu'on peut décomposer de la façon suivante (Fig.35):

- Après une période apparemment sèche dans les années 1910, la pluviométrie est très excédentaire au début des années 1920.

Fig. 32: **Asmara**

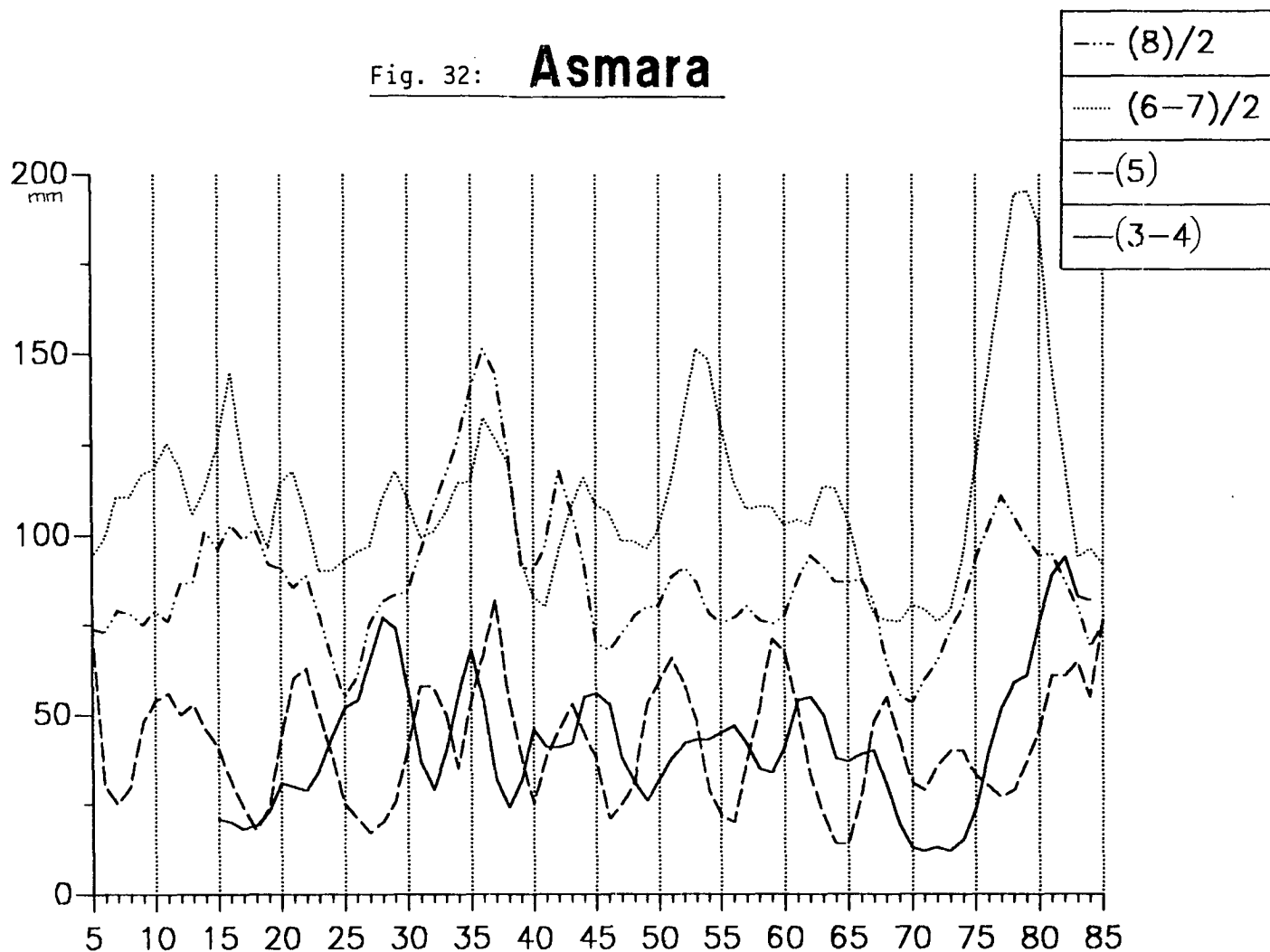


Fig. 33: **Addis-Abeba**

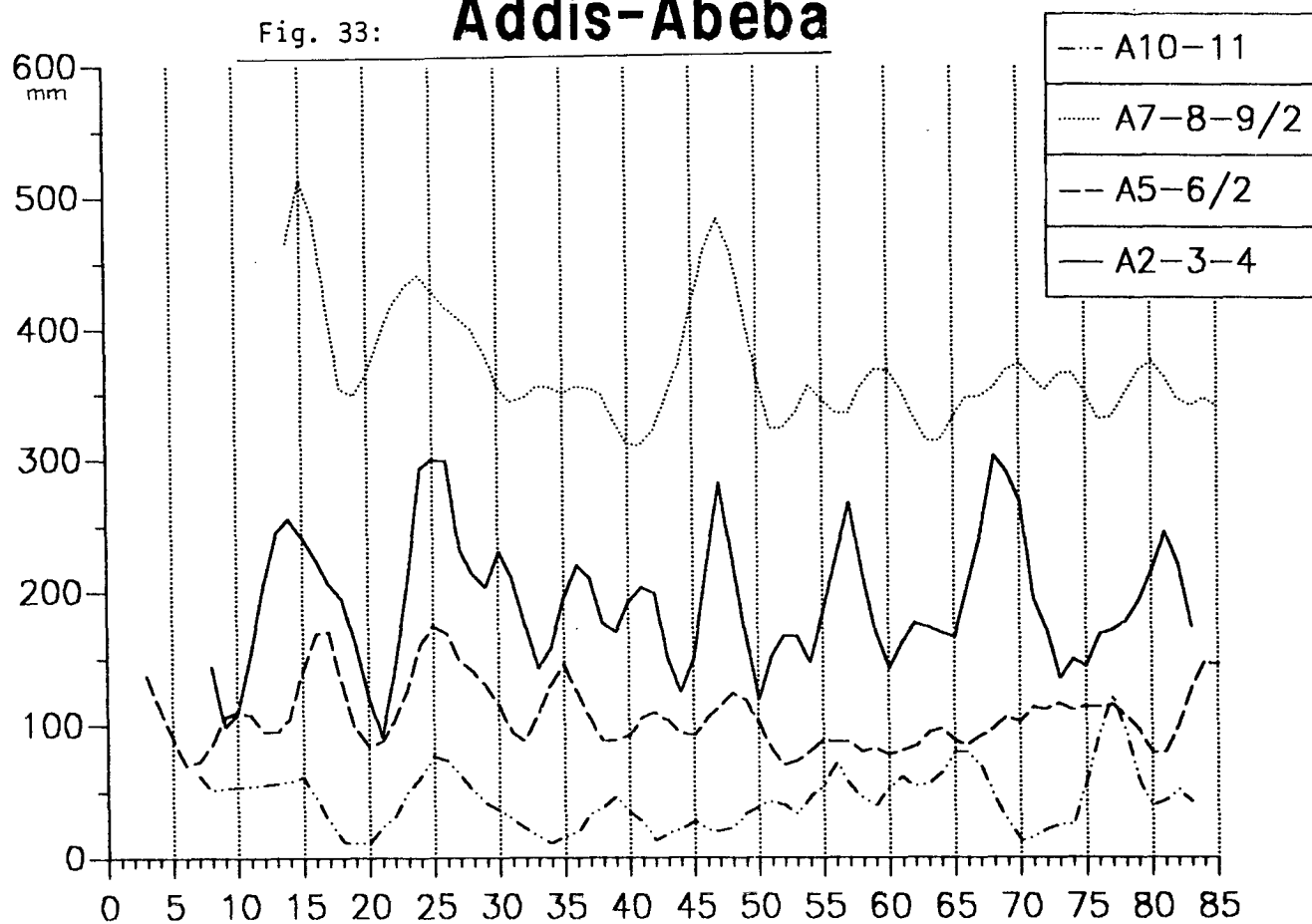


Fig. 34: **Nakuru**

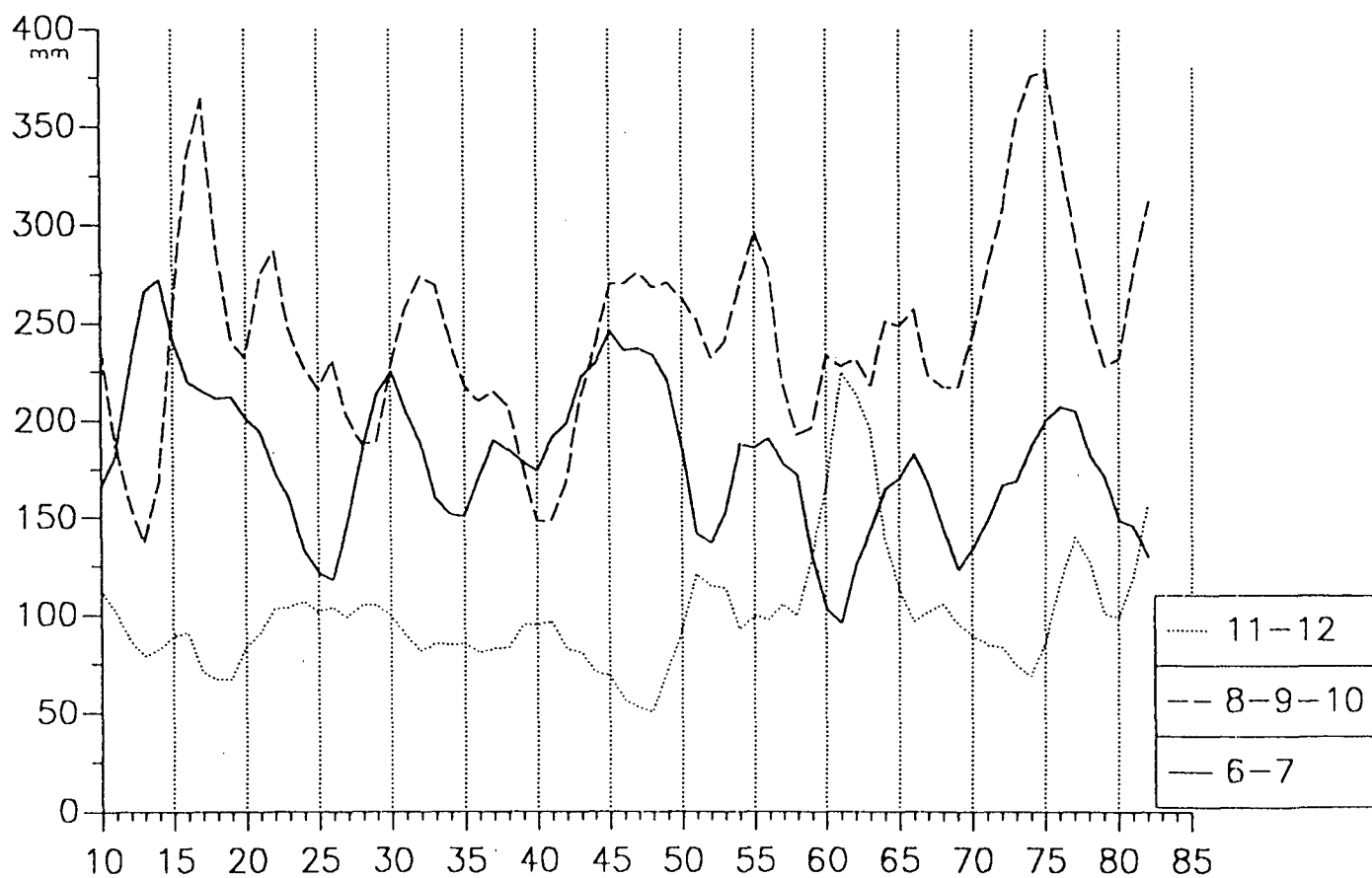
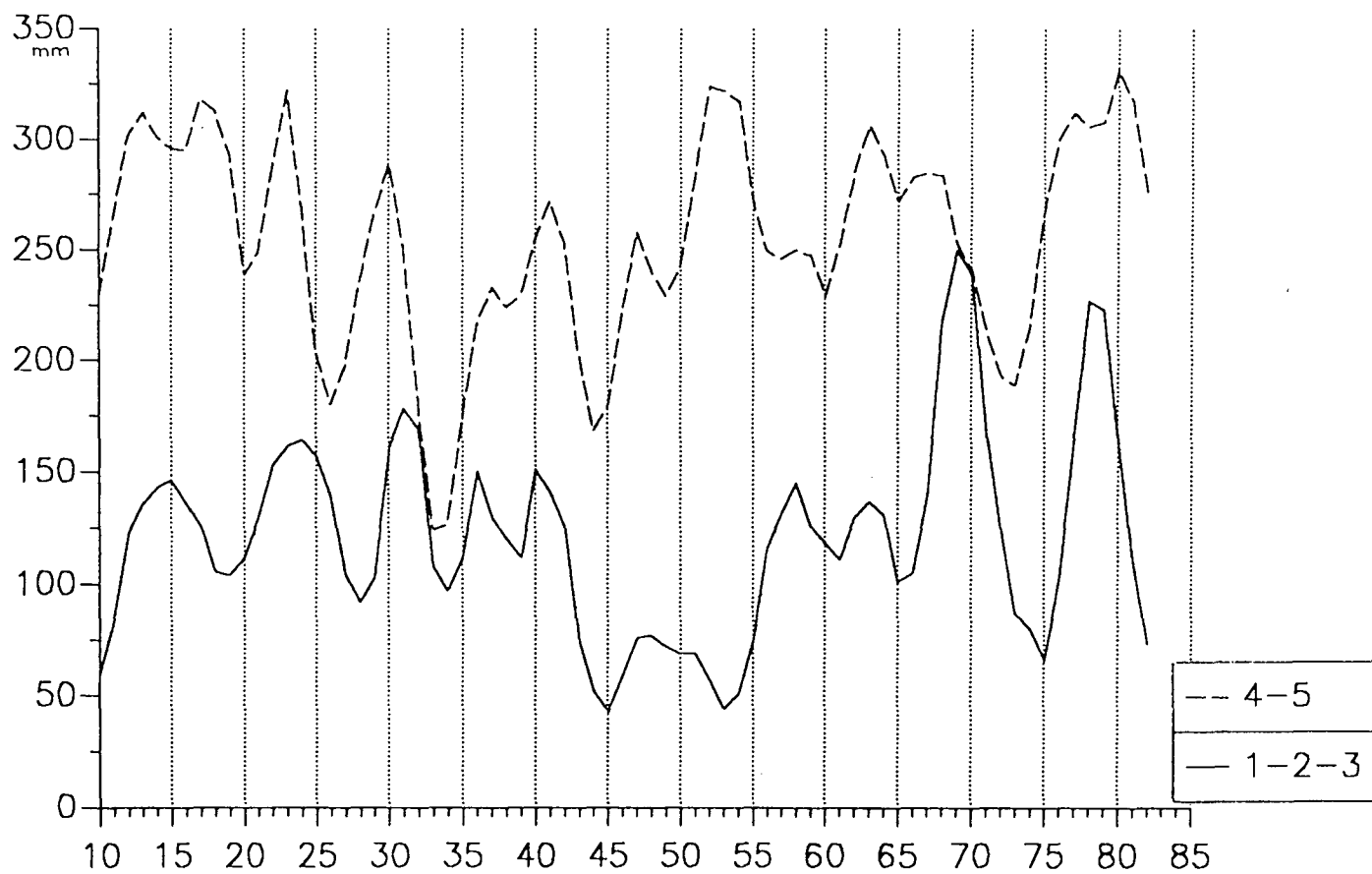


Fig. 35: **Mogadiscio**

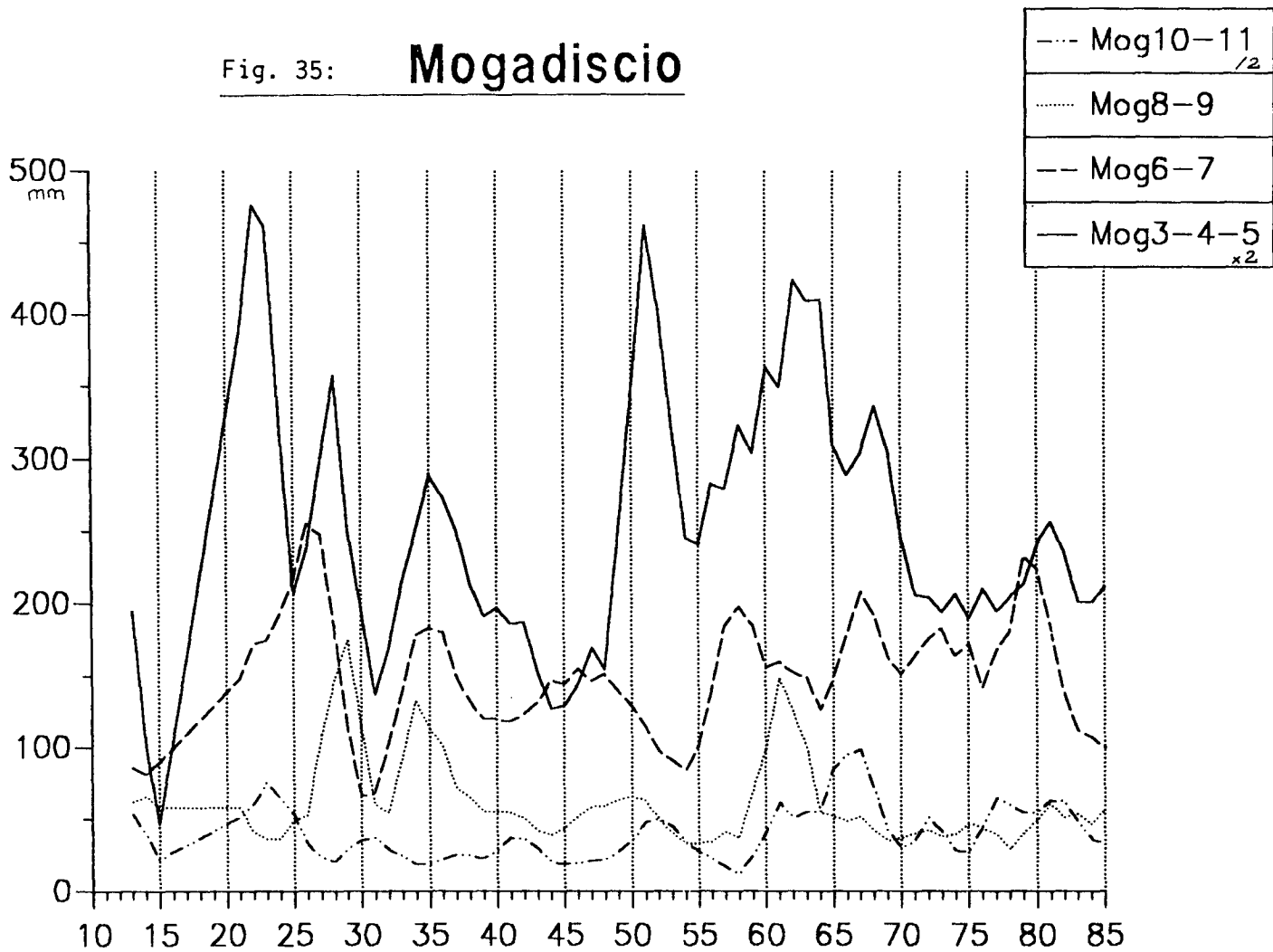
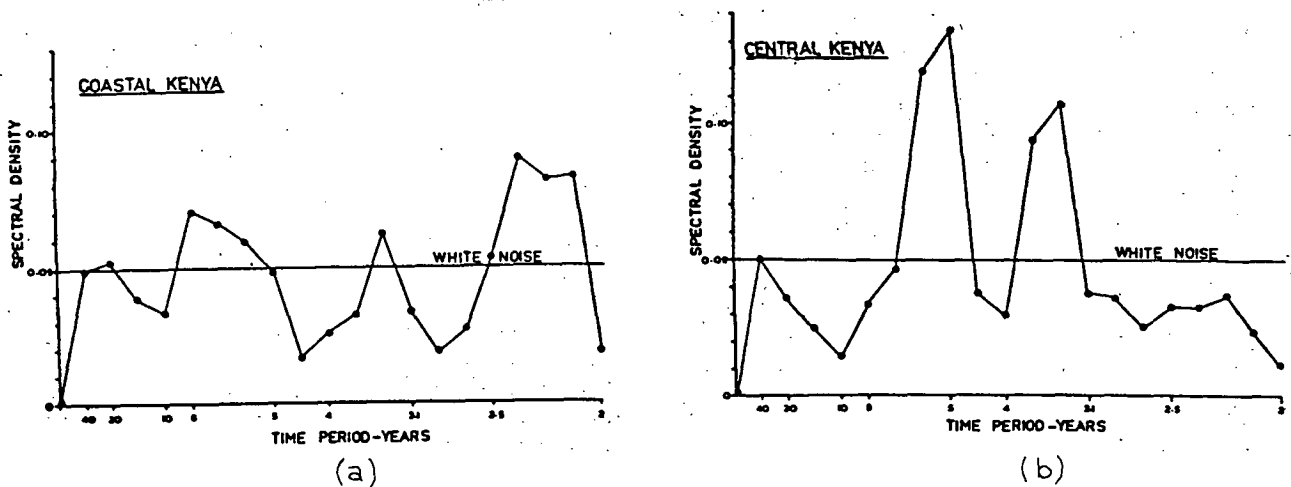


Fig. 36: ANALYSE SPECTRALE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE DE REGIONS DU KENYA, D'après RODHE et VIRJI (1976)

(a) Côte Kenyane (b) Centre du Kenya



- Dès lors, une baisse marquée des précipitations se dessine, en grande partie due à la première saison des pluies (Gu). Un niveau très bas est atteint pendant les années quarante.

- L'amélioration est rapide au cours des années cinquante, et on observe un pic au début des années soixante. Là encore, c'est essentiellement la période mars-mai qui est responsable de cette évolution, les pluies de juin-juillet étant plus stables, mais on l'observe aussi sur les petites pluies de Der (octobre/novembre).

- Une nouvelle dégradation intervient après 1969, avec deux minima pluviométriques vers 1970-74 et 1982-85 (moins accusés toutefois que celui des années quarante) et un petit pic intermédiaire à la fin des années soixante-dix. C'est toujours la saison de Gu (mars à mai, voire juin) qui reflète le mieux ces fluctuations: on les reconnaît aussi sur la période de Der, mais les mois d'été boréal (juillet-septembre) ont un comportement assez différent.

* NAKURU (Hautes-Terres du Kenya).

A Nakuru, située dans la Rift Valley, au cœur des plateaux kényans, il est difficile de reconnaître des tendances très nettes, sinon:

- Une diminution des précipitations entre 1915 et 1940 (assez similaire en cela à ce qu'on a pu observer dans les 2 stations précédentes);

- Une tendance globale à la hausse depuis 1940, avec deux pics principaux vers 1955/60 et surtout 1975/80, entrecoupés par une période sèche, plus précoce que dans les autres stations, vers 1965/70.

Il est très délicat de mettre en rapport cette évolution avec celle d'une saison particulière, chacune d'elles réagissant apparemment de façon très indépendante (cf fig.34). La baisse des années 1920 et 1930 s'observe surtout pour les mois d'avril-mai, mais aussi d'août à octobre, alors que les pluies de juin-juillet tendent à augmenter.

L'accroissement des précipitations de 1940 à 1980 est également sensible pour la première saison des pluies d'avril-mai, qui s'oppose là encore à juin-juillet, puisque ces deux mois affichent une certaine tendance à la baisse (avec des fluctuations). Les pluies d'automne ou d'hiver semblent assez bien suivre cette augmentation globale de la pluviométrie. On remarquera (mais seulement au cours de cette période 1940-85) la relative opposition de l'hiver boréal (janvier/mars) et de la fin de l'été boréal (août/octobre).

On sera tenté de voir dans cette faible cohérence de l'évolution pluviométrique à Nakuru un reflet du caractère très local (et aléatoire) des mécanismes pluviogènes. Cependant, l'examen de séries hydrologiques, telles que celle du Lac Naivasha, également dans la Rift Valley Kényane, plus au sud, montre souvent de nettes tendances, indiquant une certaine structuration temporelle.

Pour conclure cet examen de l'évolution de la pluviométrie, on peut dire qu'il existe une grande variété régionale au sein de la Corne de l'Afrique. Cependant, des tendances ou épisodes communs peuvent être reconnus, même à l'échelle stationnelle. En particulier, on sera étonné de retrouver dans bien des séries pluviométriques certains traits bien connus (notamment en ce qui concerne les sécheresses) des précipitations ouest-africaines. Cette remarque ne s'applique pas à la tendance à la baisse observée depuis les années soixante en Afrique de l'Ouest, puisqu'on a au contraire dans la Corne une (faible) tendance positive pour 11 stations sur les 12 analysées (période 1946-85).

2) Etude statistique des séries temporelles.

Deux aspects importants de l'organisation des séries pluviométriques seront présentés ici: la persistance dans le temps des anomalies, et la recherche de cycles.

a) La persistance interannuelle et intermensuelle.

La notion de persistance est assez différente de celle de tendance, car elle rend compte essentiellement de la répétition des anomalies de précipitations d'une année sur la suivante.

Le coefficient d'autocorrélation de rang 1, qui permet une mesure de cette persistance, a été cartographié sommairement en fig.28 (pour les séries d'au moins 30 ans). Les stations ayant un coefficient significatif (au seuil de 5%) ont été encadrées. Les chiffres varient beaucoup d'une station à l'autre, toutefois on peut distinguer deux régions enregistrant une forte persistance de rang 1:

- La partie Ouest des Plateaux Ethiopiens (Addis-Abeba, Agordat, Gore et même Asmara sur la période 1924-85 ont des coefficients significatifs);
- Les plaines sèches intérieures de la Péninsule Somalienne (Bardera, Galcaio), d'une manière plus discontinue.

Les coefficients nettement positifs du Plateau Ethiopien seraient à rapprocher de ce que l'on peut observer dans la bande soudano-sahélienne (bien qu'en Ethiopie on n'observe pas la forte tendance à la baisse qui est la caractéristique de cette zone).

Une analyse de l'autocorrélation interannuelle (sur 87 ans) des précipitations mensuelles pour la station d'Addis-Abeba montre que cette persistance est d'ailleurs essentiellement imputable aux mois d'août ($r_1 = 0,26$ -significatif à 5%-) et de septembre ($r_1 = 0,30$ -significatif à 1%-).

A l'inverse, les chiffres négatifs relevés sur la côte du Kenya (cf OGALLO 1980) ou à Djibouti indiquent une grande indépendance des précipitations d'une année sur l'autre.

La persistance d'un mois sur l'autre est bien sûr généralement plus forte. Toutefois, elle reste modeste dans de nombreuses stations. Pour la période 1931-80, OGALLO la trouve même très faible au Kenya notamment.

Des calculs faits à partir des anomalies réduites mensuelles, prises au pas de temps intermensuel, sur la période 1946-85, montrent une persistance très significative à Mogadiscio ($r_1 = 0,20$), significative à Addis-Abeba et Djibouti (0,11) mais inexistante à Hargeisa (-0,07, en Somalie du Nord). Des recherches plus systématiques doivent être faites, si d'autres données peuvent être rassemblées, avant de pouvoir inférer des conclusions.

b) La recherche de périodicités.

Ce domaine a fait l'objet de nombreux travaux, motivés notamment par les possibilités de prévision qui pourraient en découler. Nous les présentons ici, en les complétant au besoin par nos propres analyses.

* Les travaux antérieurs et les méthodes employées.

La quasi-totalité des travaux réalisés jusqu'ici concernent les pays d'Afrique Orientale proprement dite (Kenya, Ouganda, Tanzanie).

Plusieurs auteurs, de façon parfois très précoce, se sont intéressés aux périodicités apparaissant dans des séries pluviométriques ou hydrologiques isolées,

notamment pour les mettre en rapport avec le cycle solaire. Citons les travaux de BROOKS pour le Lac Victoria dès 1923, ou de LUMB (1972) sur la pluviométrie annuelle de Machakos (Kenya, Eastern Province).

RODHE & VIRJI (1976), dans un article fondamental, utilisent deux méthodes pour mettre en évidence d'éventuelles périodicités dans la pluviométrie annuelle de l'Afrique de l'Est:

- l'analyse des corrélogrammes (c'est-à-dire de la fonction d'autocorrélation, pour différents décalages dans le temps);
- l'analyse spectrale (selon la méthode Blackman-Tukey).

Dans chaque cas, les auteurs ont travaillé tant sur des stations que sur des indices composites régionaux.

OGALLO (1980) réalise une étude similaire, mais plus détaillée, pour la même région, en discutant la validité des principaux pics spectraux obtenus.

BELTRANDO (1990) étudie également les cycles de la pluviométrie est-africaine, en travaillant cette fois sur des données annuelles, saisonnières et mensuelles. Les analyses spectrales (Méthode de l'Entropie Maximale) sont pratiquées non sur les données brutes, mais sur les composantes principales d'analyses factorielles des champs pluviométriques.

En ce qui concerne l'Ethiopie, les études sont beaucoup plus rares.

WOOD & LOVETT (1974) examinent les précipitations annuelles d'Addis-Abeba, dont les périodicités, révélées par une simple moyenne mobile, sont mises en relation avec le cycle solaire.

BUNTING et al. (1976), en utilisant la méthode spectrale de Blackman et Tukey, toujours sur la pluviométrie d'Addis-Abeba, obtiennent les mêmes résultats.

Quant à la Somalie et à la République de Djibouti, elles n'ont fait l'objet, apparemment, d'aucune publication analysant statistiquement les cycles de précipitations.

Les méthodes utilisées dans le cadre de ce travail reprendront deux parmi celles citées précédemment:

- Le calcul de la fonction d'autocorrélation. Il peut être intéressant à deux niveaux: il est plus précis que l'analyse spectrale pour les oscillations de longue

périodicité, et il ne nécessite pas de séries continues, ce qui est important en Ethiopie et en Somalie où la plupart des stations ont de graves lacunes.

- L'analyse spectrale (ici méthode de la transformée de Fourier). Elle est plus puissante, car elle révèle bien les cycles de 2 à au moins 6/8 ans, mais elle nécessite de longues séries sans manques, condition rarement réalisée dans le domaine étudié.

Ajoutons que la mise en évidence statistique de cycles (dont le degré de signification est du reste difficile à préciser) n'implique pas forcément que ceux-ci aient une réalité climatologique. On ne retiendra donc que les cycles particulièrement forts, et qui s'observent pour plusieurs stations et/ou périodes de temps différentes.

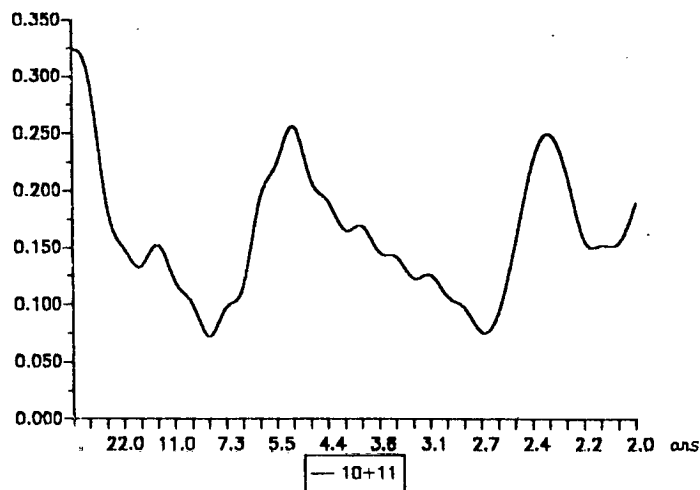
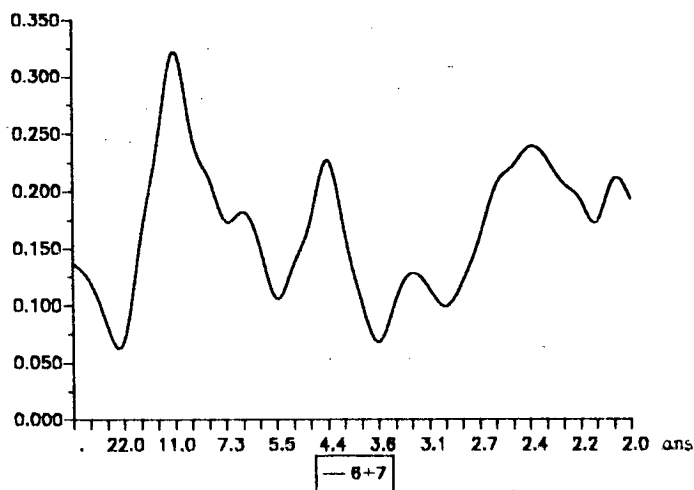
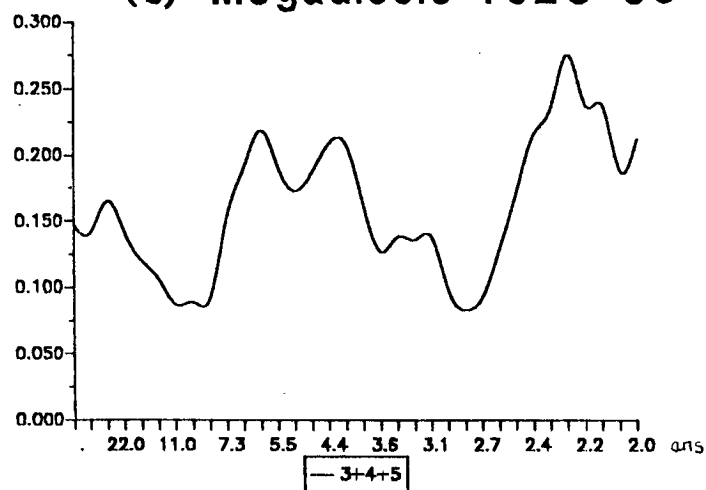
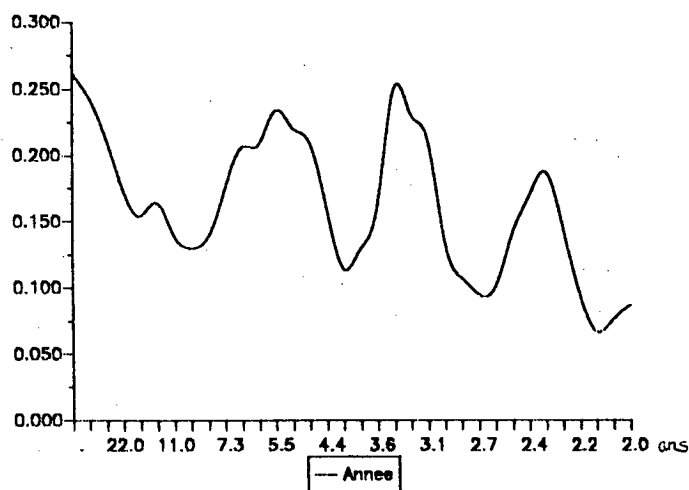
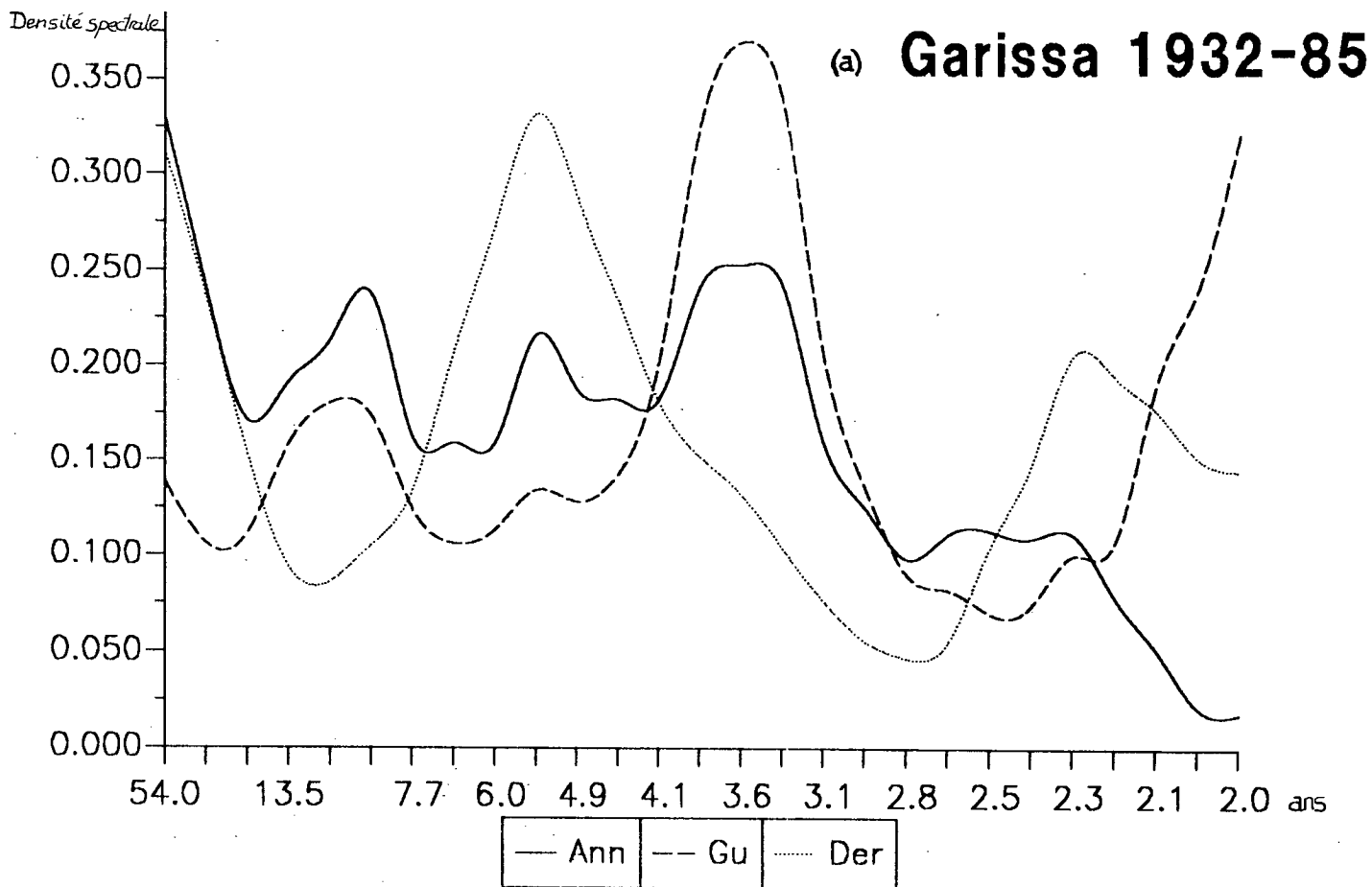
* Les résultats.

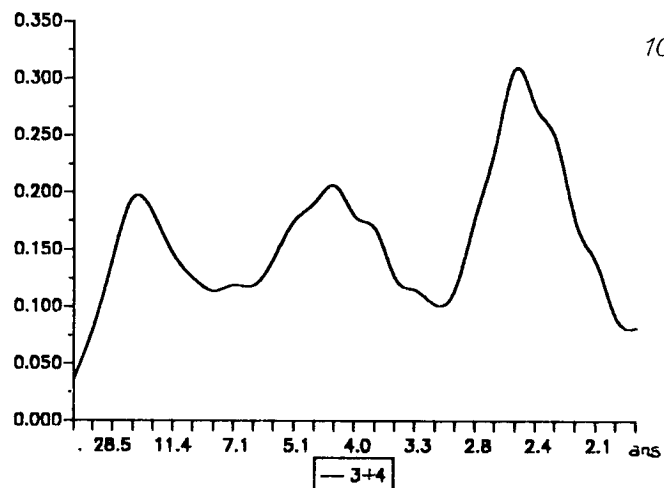
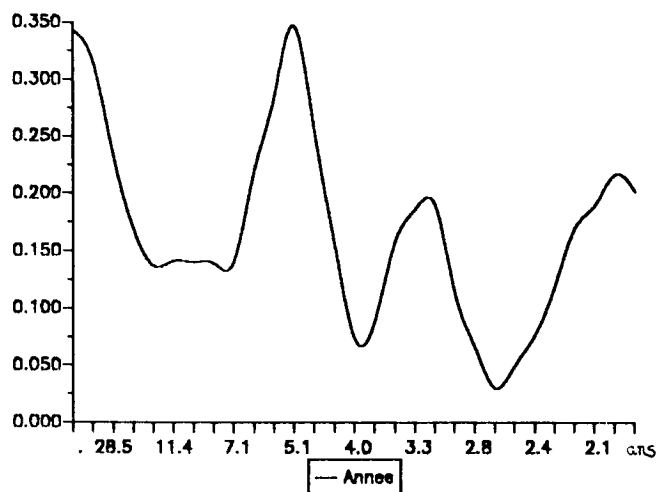
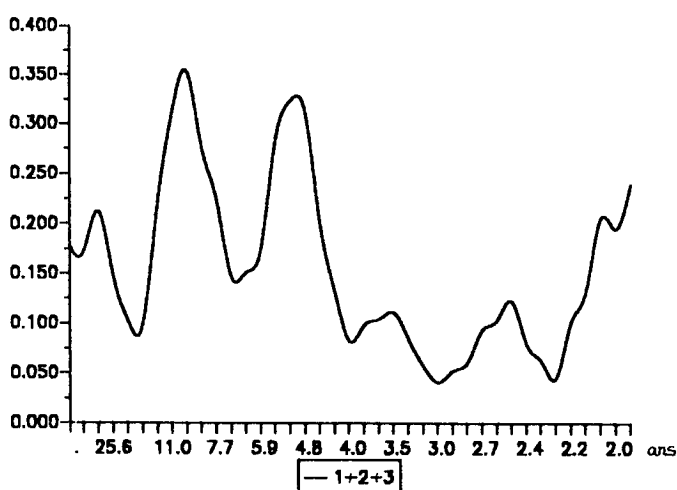
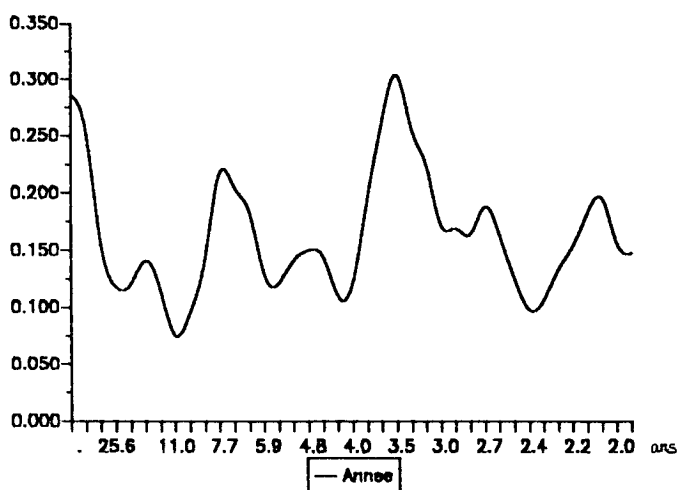
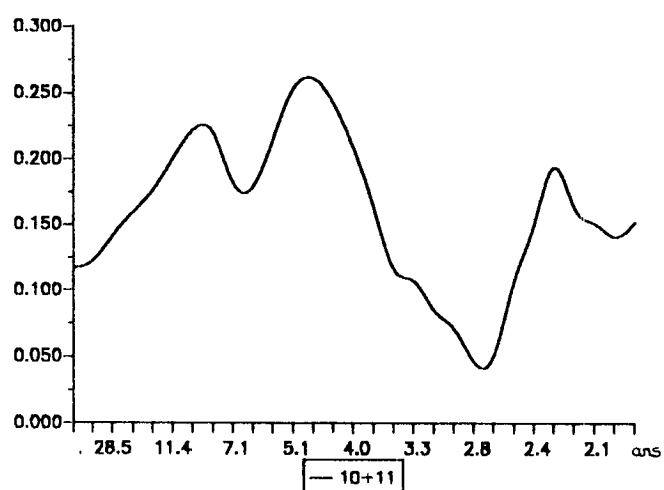
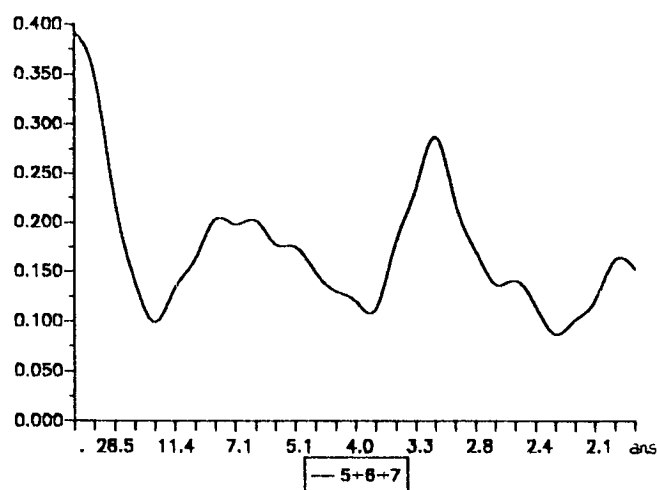
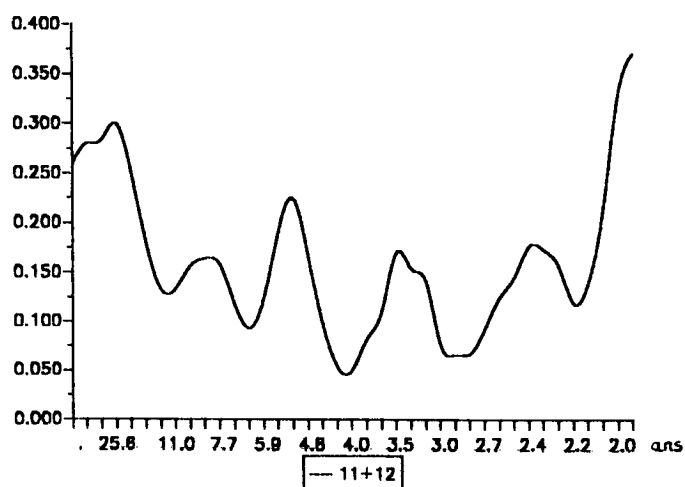
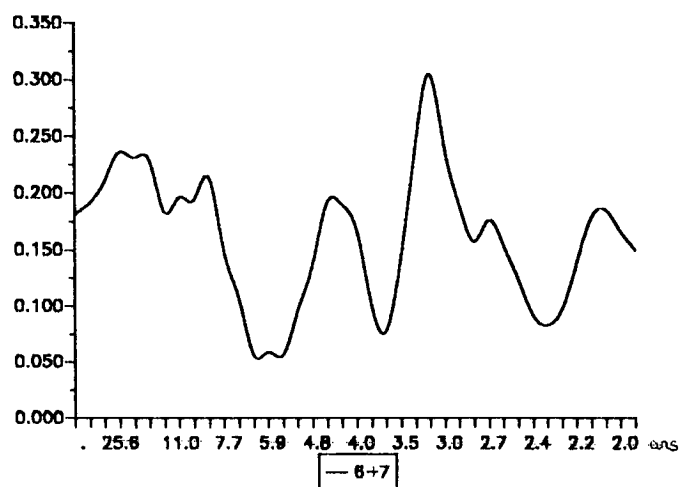
Les analyses spectrales et calculs d'autocorrélations, à partir des séries annuelles et saisonnières, montrent que 4 périodicités majeures s'observent dans les séries pluviométriques de la région, à savoir: 2 à 2,5 ans; 3 à 4 ans; 4,5 à 5,5 ans; 10 à 11 ans.

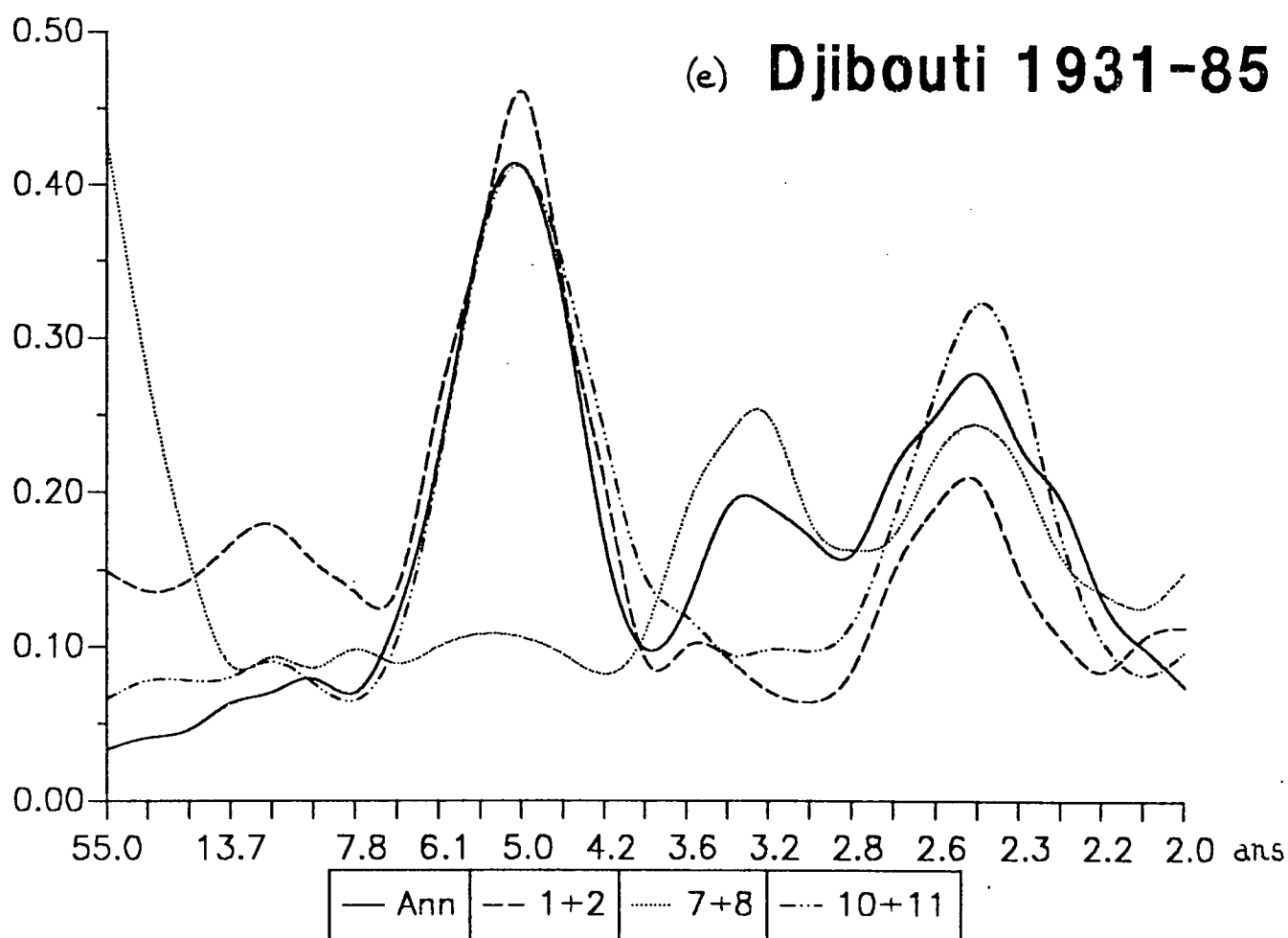
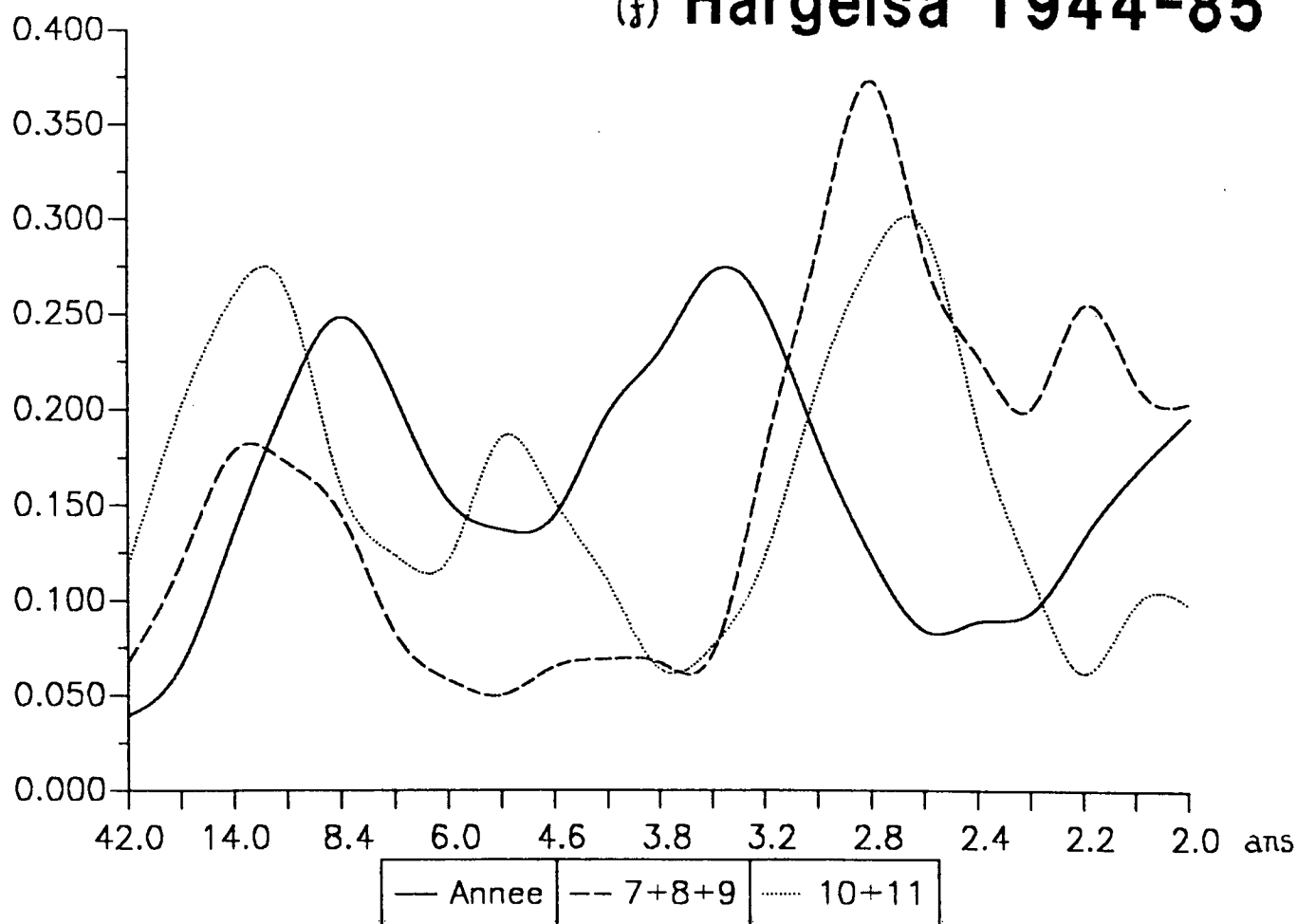
Le cycle de 2 à 2,5 ans est assez fréquent, mais on l'observe surtout sur la Côte du Kenya et du Sud de la Somalie (voir fig.37c pour Mombasa). Pour ces régions, il rythme la pluviométrie annuelle (fig.36 extraite de RODHE & VIRJI 1976), mais surtout les pluies de "printemps" boréal (mars-mai). Ailleurs, on le retrouve assez fréquemment dans les "petites pluies" d'octobre à décembre, au Kenya et en Somalie, mais parfois aussi à d'autres saisons (voir par exemple les figures 37d -Nakuru- et 37e -Djibouti-).

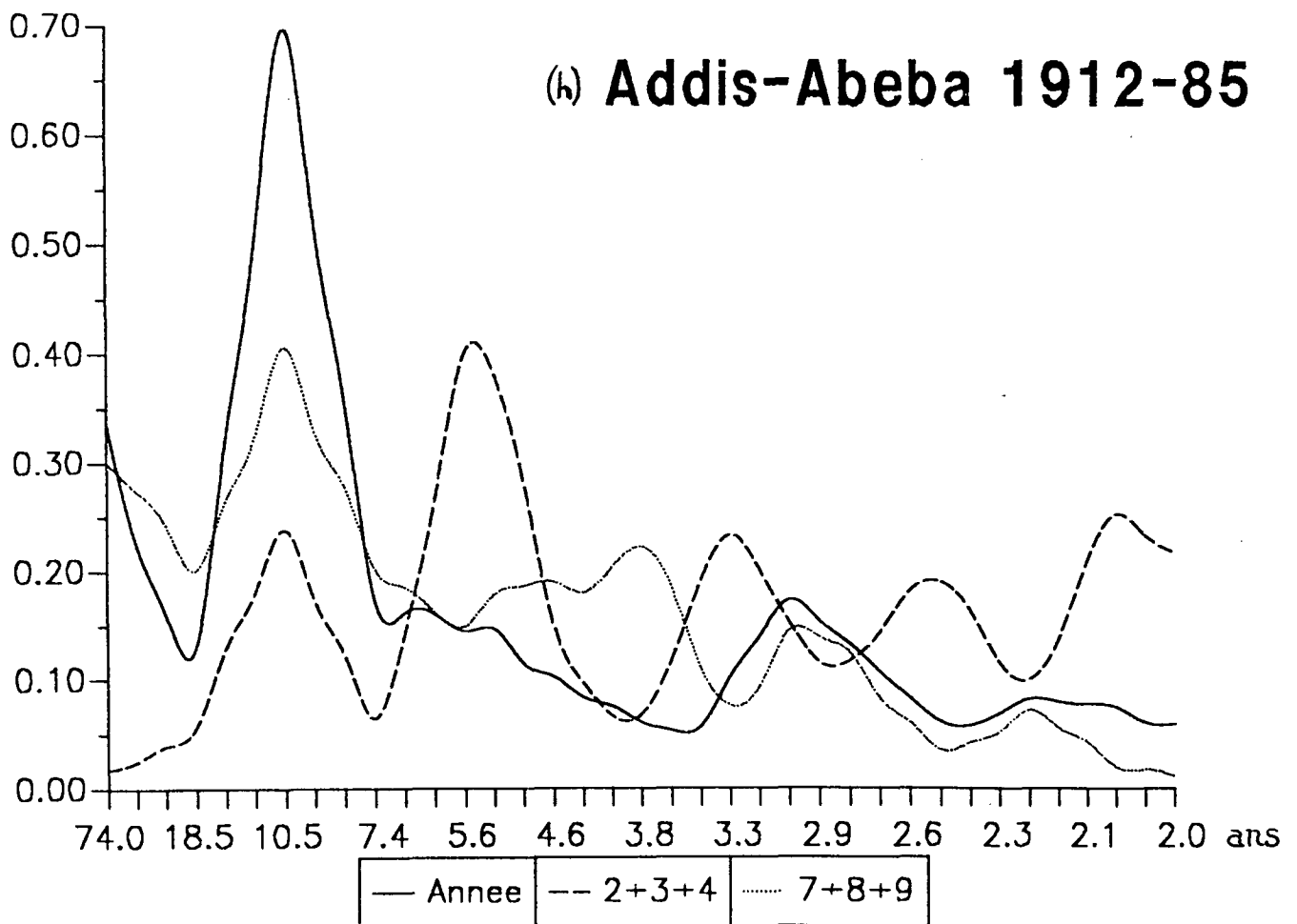
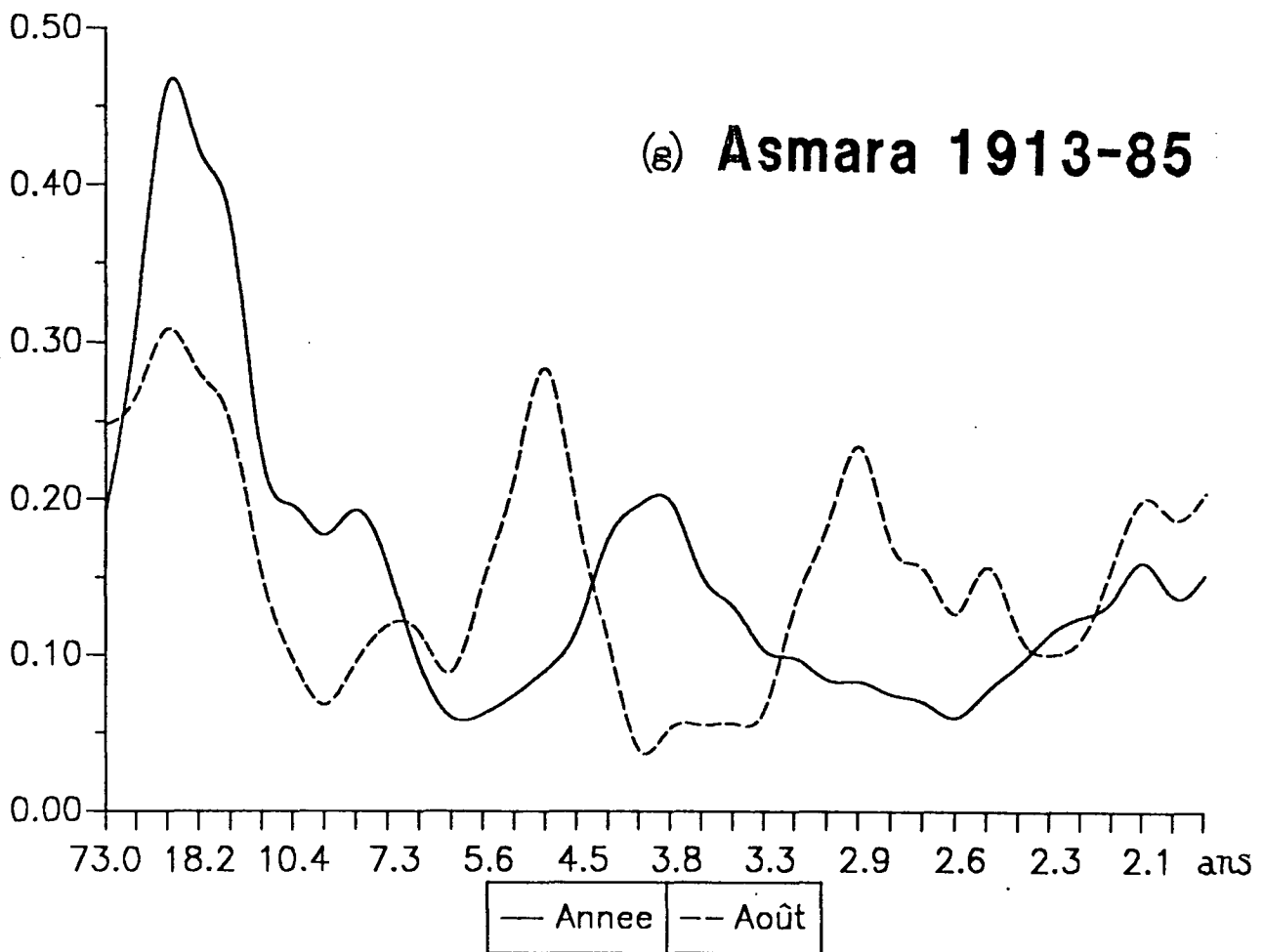
Cette périodicité souvent observée dans le domaine de l'Océan Indien a été associée par les chercheurs qui l'ont décrite à l'Oscillation Quasi-Biennale de la haute-troposphère, d'une période d'environ 26 mois.

Un second cycle, moins fréquent, est celui de 3 à 4 ans, que l'on rencontre essentiellement dans le Sud de la Corne. Il est particulièrement net sur les Hautes-Terres du Centre du Kenya (fig.36b). Les résultats obtenus par BELTRANDO (1990) et les analyses sur des données stationnelles, montrent que cette périodicité apparaît surtout dans la pluviométrie d'avril à juin au Kenya (voir fig.37a et 37c de Garissa et Mombasa).



(c) **Mombasa 1929-85**(d) **Nakuru 1908-84**

(e) **Djibouti 1931-85**(f) **Hargeisa 1944-85**



Dans toute la Corne, le cycle le plus apparent est cependant celui de 5 à 6 ans. On le retrouve dans la quasi-totalité des stations analysées. A l'échelle annuelle, RODHE & VIRJI ont montré que ce cycle suffisait à expliquer 25% de la variance des précipitations régionales du Kenya Central (18% pour le Nord-Kenya).

Si l'on descend à l'échelle mensuelle ou saisonnière, on remarque que cette périodicité apparaît un peu en toutes saisons, mais qu'elle est spécialement marquée lors des "petites pluies" d'octobre-novembre (BELTRANDO 1990). Sur le plan spatial, c'est avant tout l'ensemble Kenya/ Somalie qui est concerné par ce cycle. Il apparaît nettement dans les précipitations d'octobre/novembre à Garissa ou Mogadiscio (fig. 37a et 37b), mais aussi à Mandera ou Belet Uen (non montré).

Plus au nord, la station de Djibouti, au fond du Golfe d'Aden, enregistre elle aussi très clairement une périodicité d'environ 5 ans (fig.37e), perceptible dans les précipitations d'octobre/novembre, mais aussi jusqu'en février.

Il est intéressant de noter que ce cycle est présent également en Ethiopie, pour les mois de février à avril essentiellement, et est même nettement significatif dans une station comme Addis-Abeba, qui reçoit à cette période ses "petites pluies" de Belgh (fig.37h).

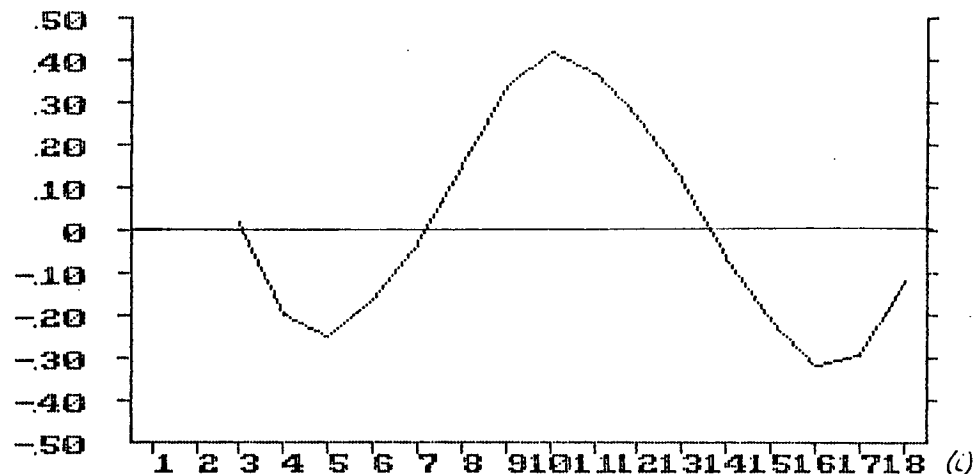
Le dernier cycle nettement discernable est celui de 10/11 ans. Les corrélogrammes (fig.38) semblent le mettre en évidence dans un grand nombre de séries annuelles de précipitations; toutefois, il est malaisé de dire dans quelle mesure ces pics de 10 à 11 ans ne sont pas dûs à la répétition des cycles de 5 à 6 ans précédemment décrits. L'analyse spectrale, et les résultats d'autres études, permettent d'indiquer que ces périodicités ont une réalité (au moins statistique) pour plusieurs stations de la Corne.

WOOD & LOVETT, ainsi que BUNTING et al. ont montré que les précipitations annuelles d'Addis-Abeba présentaient un cycle très significatif de 10 à 11 ans, nettement confirmé par notre analyse spectrale sur la période 1912-85 (fig.37h). Cette périodicité semble en grande partie liée aux "grandes pluies" de Kirmet (juillet-septembre): un simple examen de la chronique pluviométrique (fig.33) ne peut que confirmer cela. Le cycle n'est cependant pas décelable à Asmara, dans le Nord de l'Ethiopie (fig.37g).

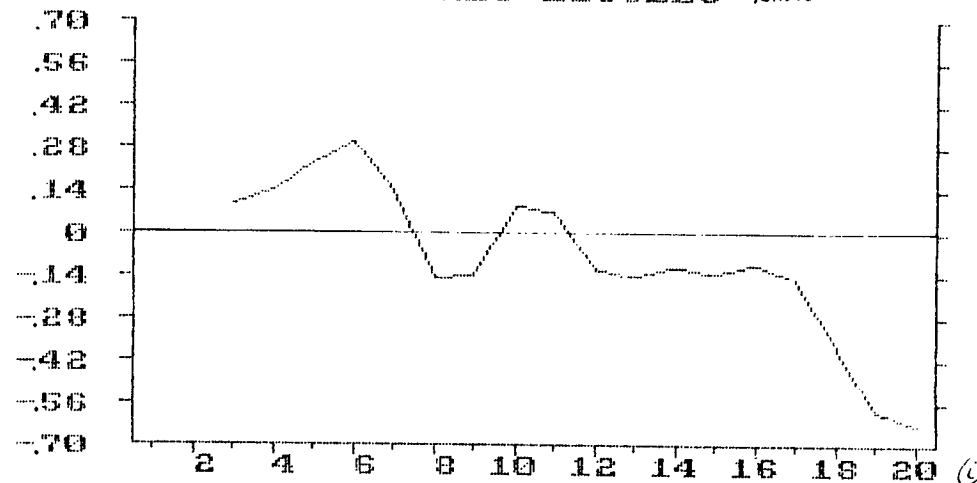
Fig. 38 : CORELOGRAMMES DES PRECIPITATIONS ANNUELLES

(Fonction d'autocorrélation de rang ℓ des précipitations annuelles filtrées sur 3 ans).

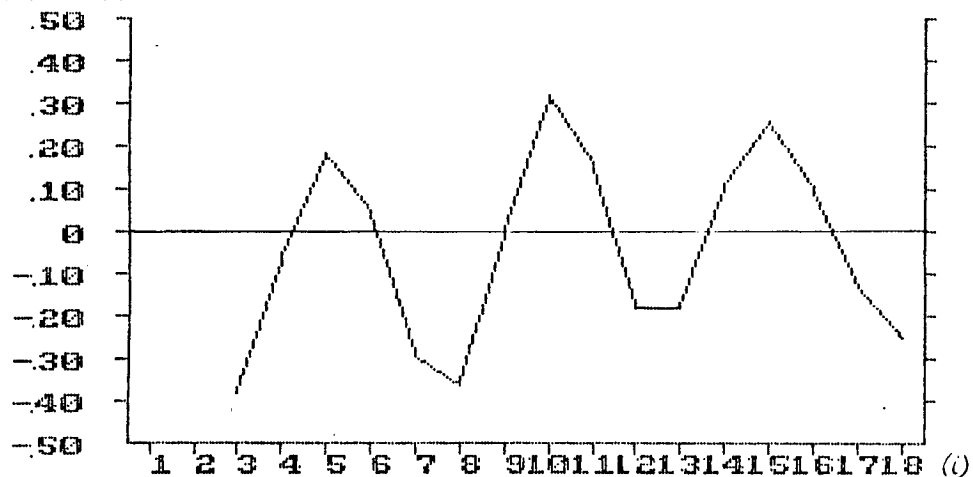
ADDIS-ABEBA 1900.70



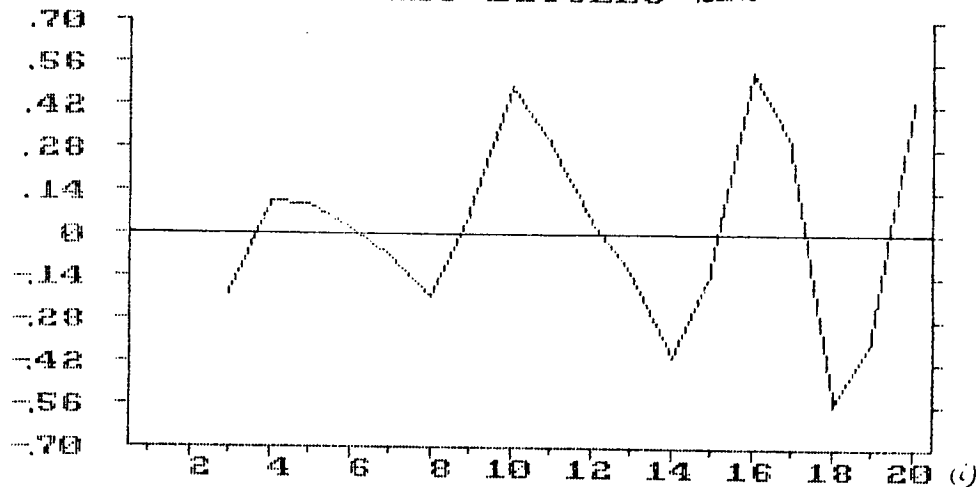
MOGADISCIO P. ANNUELLES LISSEES 1911.70



DJIBOUTI 1901.70



MARGEISA P. ANNUELLES LISSEES 1921.70



Ce cycle de 10/11 ans, souvent mis en rapport avec le cycle des taches solaires, a été également observé par BROOKS pour les niveaux du Lac Victoria (mais seulement jusqu'au début du siècle), et par LUMB pour la pluviométrie annuelle de Machakos (Kenya). OGALLO (1980) indique que seules des stations assez dispersées enregistrent cette périodicité au Kenya. De fait, à l'exception d'Addis-Abeba, elle est rarement significative dans les stations de la Corne que nous avons pu analyser. Le cas échéant, on observe généralement ce cycle dans les précipitations de février à avril.

Conclusion de la troisième partie.

Si la Corne de l'Afrique ne présente pas, contrairement à d'autres régions africaines, de dérive de sa pluviométrie, les fluctuations qu'on peut y observer sont assez marquées, le cycle de 5 à 6 ans étant le plus évident. L'interprétation et la valeur climatologiques de ce cycle, comme des 3 autres mis en évidence, n'en reste pas moins beaucoup plus problématique.

Le meilleur moyen de vérifier leur validité serait de les mettre en rapport, par le calcul de corrélations statistiques notamment, avec les variations observées des grands paramètres atmosphériques et océaniques susceptibles d'interagir avec la pluviométrie de cette partie de l'Afrique.

CONCLUSION GENERALE.

Au terme de cette étude partielle sur la pluviométrie de la Corne Orientale de l'Afrique, sans vouloir présenter de conclusion "définitive", il est possible de faire un rapide bilan des problèmes climatologiques rencontrés, en suggérant quelques voies pour mieux les explorer et les expliquer.

Outre les phénomènes côtiers intéressants observés le long de la Mer Rouge (régimes à maximum d'hiver, aux précipitations rares mais violentes), et de l'Océan Indien (au Sud, absence de saison sèche d'été boréal, dissymétrie des deux intersaisons), qui restent mal expliqués, l'analyse nous a révélé l'importance d'une division méridienne du domaine. Celle-ci, correspondant en partie à une division altitudinale, oppose l'Ouest (essentiellement les Hautes-Terres d'Ethiopie et du Kenya), généralement bien arrosé avec un maximum principal d'été, à l'Est (plaines et plateaux du Kenya Oriental, de Somalie, de l'Ogaden et des côtes du Golfe d'Aden), la plupart du temps très marqué par l'aridité, à deux maxima d'intersaisons, voire un maximum unique hivernal.

On retrouve dans une certaine mesure cette partition au niveau de la variabilité interannuelle, même à la seule lumière d'analyses stationnelles: la variabilité est ainsi plus forte à l'Est qu'à l'Ouest, et dans les basses-terres qu'en altitude.

Ces observations, et les connaissances que l'on a de la circulation atmosphérique régionale, tendent à présenter la Corne comme un lieu de contact entre deux domaines relativement indépendants (voire trois si l'on inclut la circulation tempérée qui affecte marginalement le Nord de la région): le domaine indien, à l'Est, et le domaine atlantico-congolais, à l'Ouest. Du reste, c'est bien ce que suggère le schéma de circulation zonal de Walker, qui associe au niveau de l'Afrique Orientale la branche descendante de la cellule indienne, et la branche ascendante de la cellule africaine.

Ces mécanismes restent cependant très flous, d'autant que l'indépendance des façades Est et Ouest est loin d'être évidente: un seul coup d'oeil suffit aux graves sécheresses de 1972-74 et 1983-84, qui ont non seulement frappé l'Ethiopie, mais aussi la Somalie pour la première, et tout le Kenya pour la seconde.

Les insuffisances d'une approche stationnelle, telle qu'on a été obligé de la pratiquer dans cette étude, montrent qu'il est important d'essayer de mieux analyser la pluviométrie de la Corne, sur la base d'une régionalisation fondée sur les covariations pluviométriques - sous réserve bien sûr de pouvoir travailler sur un réseau suffisamment dense -. Ultérieurement, l'objectif principal reste de mettre en rapport la pluviométrie avec les grands flux atmosphériques (et les champs océaniques) qui conditionnent largement le climat de la Corne de l'Afrique.

Peut-être pourra-t-on alors apporter un début de réponse au poète Somali:

*Qu'on regarde ici ou là, la vie en ce monde a besoin d'eau,
Mais si l'eau elle-même a soif,
A quelle source pourra-t-elle étancher sa soif?*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAUDUIN D. & DUBREUIL P., 1973

L'inventaire des ressources en eau pour l'aménagement intégré du bassin du Wabi Shebelle d'Éthiopie.

in CAHIERS DE L'ORSTOM, Sér. Hydrologie, Vol. 10, n°4, p 307-347

BEAU A., BOURHIS E., BERGES R., 1976

Aperçu de climatologie dynamique du Territoire Français des Afars et Issas.

in LA METEOROLOGIE, numéro spécial Météorologie Tropicale, Sept. 1976

BELTRANDO G., 1990

Variabilité interannuelle des précipitations en Afrique Orientale (Kenya, Ouganda, Tanzanie), et relations avec la dynamique de l'atmosphère.

Thèse, Université d'Aix-Marseille II, Mars 1990.

BERESFORD A., 1982

Recent climatic change in East Africa: lake levels, rainfall and upper air flow.

Thèse, University of East Anglia, Janvier 1982.

BROOKS C.E.P., 1923

Variations in the levels of the Central African Lakes, Victoria and Albert.

Geophysical Memoirs n°20, Meteorological Office, Londres.

BROWN L.H. & COCHEME J., 1973

A study of the agroclimatology of the Highlands of East Africa.

in TECHNICAL NOTES, OMM, n°125.

BUNTING A.H., DENNETT M.D., ELSTON J., MILFORD J.R., 1976

Rainfall trends in the West African Sahel.

in QUART. J. ROY. MET. SOC., Vol.102, p 59-64.

BUTZER K.W., 1971

Recent History of an Ethiopian delta.

University of Chicago, Geography Dept, 184 pp.

COSTANTINI, 1970

Le piogge in Somalia e possibilita di previsione dei loro quantitativi stagionali.

in RIV. DI METEOROLOGIA AERONAUTICA, Vol.30, n°3, p 53-65.

EAST AFRICA ROYAL COMMISSION REPORT, 1953-55

Her Majesty's Stationery Office, Londres, 482 pp.

FANTOLI A., 1965a

Contributo alla Climatologia della Somalia.

Ministeri degli Affari Esteri, Rome.

FANTOLI A., 1965b

Contributo alla Climatologia dell'Étiopia.

Ministeri degli Affari Esteri, Rome.

FANTOLI A., 1966

Contributo alla Climatologia dell'Eritrea.
Ministeri degli Affari Esteri, Rome.

FINDLATER J., 1969

A major low-level air current near the Indian Ocean during northern summer.
in QUART. J. ROY. MET. SOC., Vol.95, p 362-380.

FINDLATER J., 1974

The low-level, cross-equatorial air current of the Western Indian Ocean during the northern summer.
in WEATHER, n°29, p 411-416.

FLOHN H., 1964

Ueber die Ursachen der Aridität Nordost-Afrikas.
in WURZBURGER GEOGR. ARBEITEN, Vol.12, p 25-41.

FLOHN H., 1965

Contributions to the synoptic climatology of North-East Africa.
in TECHNICAL NOTES, OMM, n°69, p 236-244.

FONTAINE B., 1989

Etude comparée des moussons indienne et ouest-africaine: caractéristiques, variabilité et téléconnexions.
Thèse, Université de Dijon.

FREMMING, 1970

Notes on an easterly disturbance affecting East Africa.
Technical Memo., n°13, East African Meteorological Dept, Nairobi.

GALLAIS J., 1985

Sécheresse, Famine, Etat: le cas de l'Ethiopie.
in HERODOTE, n°39, p 60-87.

GASSE F. & ROGNON P., 1973

Le Quaternaire des bassins lacustres de l'Afar.
in REV. GEOG. PHYS. GEOL. DYN., n°4, p 405-414.

GLOVER J., HENDERSON J.P., ROBINSON P., 1954

Provisional maps of the reliability of annual rainfall in East Africa.
in QUART. J. ROY. MET. SOC., Vol.80, p 602-609.

GLOVER J., KENWORTHY J.M., 1958

The reliability of the main rains in Kenya.
in EAST AFRICAN AGRIC. J., Vol.23, p 267-280.

GRIFFITHS J.F., 1972

Eastern Africa; Ethiopian Highlands; The Horn of Africa.
in WORLD SURVEY OF CLIMATOLOGY, Vol.10.

GRIFFITHS J.F., HEMMING C.F., 1963

A rainfall map of Eastern Africa and Southern Arabia.
Memo. n°3, East African Meteorological Dept, Nairobi, 44 pp.

GROVE, STREET, GOUDIE, 1975

Former lake levels and climatic change in the Rift Valley of Southern Ethiopia.
in GEOGRAPHICAL JOURNAL, Vol.141, n°2, p 177-202.

HABTEMICHAEL A. & PEDGLEY, 1974

Synoptic case-study of spring rains in Eritrea.
in ARCH. MET. GEOPHYS. BIOKLIM., Série A, n°3-4, p 285-296.

HEMMING C.F., 1966

The vegetation of the Northern Region of the Somali Republic.
in PROC. OF THE LINNEAN SOCIETY, Vol.177, n°2, p 173-250.

KINUTHIA J.H. & ASNANI G.C., 1982

A newly found jet un North Kenya.
in MONTHLY WEATHER REVIEW, Vol.110, p 1722-1728.

LEWIS I.M. Ed., 1975

Abaar: the Somali drought.
International African Institute, Londres.

LOVETT & WOOD, 1976

Rainfall reliability in Ethiopia.
in WEATHER, p 417-424.

LUMB F.E., 1966

Synoptic disturbances causing rainy periods along the East African Coast.
in METEOROLOGICAL MAG., p 150-159.

LUMB F.E., 1972

Rainfall at Machakos (1986-1971) and the solar cycle.
in WEATHER, p 333-335.

OGALLO L., 1980

Time series analysis of rainfall in East Africa.
Thèse, University of Nairobi, Février 1980.

OGALLO L., 1982

The persistence of the monthly rainfall over East Africa.
East African Meteorological Dept Memoirs, août 1982.

POTTS A.S., 1971

Application of harmonic analysis to the study of East African rainfall data.
in J. OF TROPICAL GEOGRAPHY, Décembre 1971, p 31-41.

RAHEMTULLA, 1971

Cit. in OBASI & RODHE, Some factors of the atmospheric environment in Kenya.
East African Meteorological Dept.

RODHE H. & VIRJI H., 1976

Trends and periodicities in East African rainfall data.
in MONTHLY WEATHER REVIEW, Vol.104, n°3, p 307-315.

SCHOVE D.J., 1977

African droughts and the Spectrum of time.
in DALBY & CHURCH, Drought in Africa, Intern. Afr. Inst., p 38-53.

THOMPSON B.W., 1966

The mean annual rainfall of Mount Kenya.
in WEATHER, Vol.21, p 48-49.

TREWARTHA G.T., 1961

The Earth's problem climates.
University of Wisconsin, Madison, 334 pp.

TUCKER & PEDGLEY, 1977

Summer winds around the Southern Red Sea.
in ARCH. MET. GEOPHYS. BIOKLIM., n°3, p 221-231.

WOLDE-MARIAM M., 1982

Vulnerability to famine in rural Ethiopia, 1958-1977.
in PROC. 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF ETHIOPIAN
STUDIES, 26-29 avril 1982, Lund.

WOOD & LOVETT, 1974

Rainfall, drought and the solar cycle.
in NATURE, Vol.251, p 594-596.

WOOD C.A., 1977

A preliminary chronology of Ethiopian droughts.
in DALBY & CHURCH, Drought in Africa, Intern. Afr. Inst., p 68-73.

TABLE DES FIGURES

Fig.1: Relief et situation.	12
Fig.2: Disposition des champs moyens de pressions en surface.	15
a) Janvier / b) Avril / c) Juillet / d) Octobre.	
Fig.3: Précipitations moyennes annuelles.	21
Fig.4: Relation entre l'altitude et la pluviométrie moyenne annuelle.	22
Fig.5: Intensité moyenne annuelle des précipitations.	26
Fig.6: Précipitations moyennes mensuelles en pourcentage du total annuel.	28-43
Fig.7: A.C.P. sur les régimes pluviométriques: plan principal.	49
Fig.8: Chroniques mensuelles de l'A.C.P. sur les régimes pluviométriques.	
a) CP1 / b) CP2	49
Fig.9: Corrélations significatives entre les régimes pluviométriques.	49
Fig.10: A.C.P. des précipitations moyennes mensuelles: champs des deux premières composantes principales: a) CP1 / b) CP2.	50
Fig.11: Types régionaux de régimes pluviométriques.	51
Fig.12: Régimes pluviométriques des côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden (Type A).	53
Fig.13: Régimes pluviométriques à maximum estival de type Ethiopien (Type B).	54
Fig.14: Régimes pluviométriques bimodaux de type Somali (Type C).	56
Fig.15: Régimes pluviométriques du littoral de l'O. Indien (C et D).	57
Fig.16: Régimes pluviométriques de l'Ouest du Kenya et du Sud-Ouest de l'Ethiopie (Type E).	57
Fig.17: A.C.P. des régimes pluviométriques des côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden: plan principal.	58
Fig.18: Profils pluviométriques moyens le long des côtes de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden pour quelques mois choisis.	58
Fig.19: Coupes pluviométriques mensuelles le long de l'escarpement Erythréen.	68
Fig.20: Escarpement Nord-Somalien: croquis de localisation.	68

Fig.21: Limite entre régimes d'été et régimes d'hiver en République de Djibouti.	70
a) Croquis de localisation;	
b) Relation avec l'altitude;	
c) Relation avec la distance à la mer.	
Fig.22: Relation entre altitude et pluviométrie de juillet/ août le long de la limite orientale de la zone à pluies d'été.	72
Fig.23: Altitude de la limite des pluies d'été d'après 7 profils pluviométriques.	72
Fig.24: Relation entre les précipitations d'été boréal et la distance des stations au littoral de l'Océan Indien.	74
Fig.25: Distribution de la moyenne annuelle de précipitations en fonction de l'écart-type.	79
Fig.26: Coefficients de variation des précipitations annuelles.	80
Fig.27: Anomalies spatio-temporelles de variabilité pour 4 mois représentatifs.	80
Fig.28: Persistance des précipitations annuelles.	83
Fig.29: Histogrammes de fréquences des précipitations annuelles.	83
Fig.30: A.C.P. sur les précipitations mensuelles de Mogadiscio.	86
Fig.31: Evolution temporelle de la pluviométrie annuelle (1900-1985).	91
Fig.32: Evolution temporelle de la pluviométrie saisonnière: Asmara.	94
Fig.33: Evolution temporelle de la pluviométrie saisonnière: Addis-Abeba.	94
Fig.34: Evolution temporelle de la pluviométrie saisonnière: Nakuru.	95
Fig.35: Evolution temporelle de la pluviométrie saisonnière: Mogadiscio.	96
Fig.36: Analyse spectrale de la pluviométrie annuelle de deux régions du Kenya.	96
Fig.37: Analyses spectrales de la pluviométrie annuelle et saisonnière de 8 stations de la Corne de l'Afrique.	102
a) Garissa / b) Mogadiscio / c) Mombasa / d) Nakuru	
e) Djibouti / f) Hargeisa / g) Asmara / h) Addis-Abeba.	
Fig.38: Corrélogrammes des précipitations annuelles.	107
CARTE DE LOCALISATION DES PRINCIPAUX NOMS.	117

IMPRIM' SERVICE

90, Rue de Mirande

Tel. 80 65 30 74 — 21 000 DIJON

